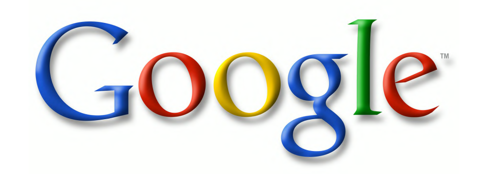


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

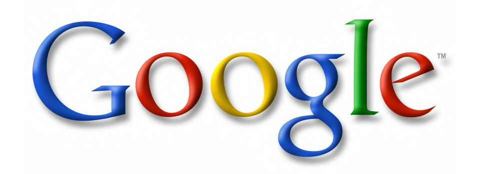
Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

A 773,784






1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING

ENGINEERING
LIBRARY
TG
335
.D52
1908

Der Bau
von
Betonbogenbrücken
mit Gelenken

von

Hermann Dewitz
Diplom-Ingenieur.

Zweite Auflage.

Mit 44 Abbildungen im Text und 3 Tafeln.



Hannover 1908.
Helwingsche Verlagsbuchhandlung.

Alle Rechte, insbesondere das Übersetzungsrecht,
vorbehalten.

Druck von Th. Schäfer, Hannover.

Vorwort zur ersten Auflage.

Das vorliegende Werk verdankt seine Entstehung der Anregung von verschiedenen Seiten aus dem Kreise meiner Kollegen. Diesen sowohl wie auch mir persönlich machte sich der Mangel eines kleinen Führers und Beraters beim Entwerfen der im letzten Jahrzehnt immer mehr in Aufnahme gekommenen Betonbogenbrücken mit Gelenken recht fühlbar. Es soll daher mein kleines Werk dem studierenden Bauingenieur beim Lösen derartiger Aufgaben, sowie auch jedem anderen in der Praxis tätigen Ingenieur oder Techniker beim Entwerfen derartiger Bauwerke die Grundzüge des Steinbrückenbaues in ihren verschiedenen Beziehungen ins Gedächtnis zurückrufen. Es ist deshalb lediglich Wert auf klare Auseinandersetzung der Formeln wie der gesamten statischen Verhältnisse gelegt. Ferner ist auch die Theorie der Einflufslinien für den Dreigelenkbogen mit ihrer Entstehung eingehend erörtert, und dürfte somit der ganze Inhalt dem sich dafür Interessierenden recht nützlich sein.

Hannover, im Sommer 1905.

Der Verfasser.

Rec'd 6-5-42 ...

203725

Vorwort zur zweiten Auflage.

Mit Rücksicht auf die freundliche Aufnahme, welche diesem Buche bei seinem ersten Erscheinen zuteil geworden ist, habe ich bei der zweiten Auflage den Hauptplan der ersten beibehalten, doch habe ich die einfache Behandlung des Stoffes, sowie deren Anschaulichkeit zu verbessern gesucht.

Auf Anregung von Fachleuten und Studierenden hin sind als neue Abschnitte „Die Bogenform" und „Die Ausführung von Gelenkbrücken in Beton" hinzugekommen.

Durch diese Inhaltserweiterung wurde eine allgemeinere Fassung des Titels bedingt.

Allen sonstigen in dankenswerter Weise mir erteilten Ratschlägen und Winken habe ich nach Möglichkeit Rechnung zu tragen versucht.

Altona, im Januar 1908.

Dewitz.

Inhaltsverzeichnis.

Schlagwortverzeichnis.

Erster Abschnitt.

Allgemeines.

1. Massive Bogenbrücken aus Beton.

Die Vorliebe für massive Brücken hat sich im letzten Jahrzehnt wieder geltend gemacht. Eine verhältnismäfsig bedeutende Anzahl solcher Bauwerke mit teilweise sehr grofsen Spannweiten ist entstanden.

Die Anwendung von Beton als Material zur Herstellung massiver Brücken findet von Jahr zu Jahr mehr Verbreitung. Die Gründe, welche dafür sprechen, sind zunächst in der Vervollkommnung der Herstellung des Portlandzementes zu suchen. Aufserdem sind Betonbrücken im allgemeinen billiger und entschieden rascher herzustellen als die mit anderem Material gewölbten Brücken.

Diesen bedeutenden Vorzügen schliefsen sich noch die in den letzten Jahren gemachten Errungenschaften des Betonbrückenbaues an. Die chemischen sowie physikalischen Eigenschaften des Betons sind durch zahlreiche Versuche eingehend studiert und genau erkannt. Durch Anwendung von Betonmischmaschinen, sowie durch sehr feines Mahlen des Zementes werden äufserst feste und gleichmäfsige Mischungen erzielt.

Ein in dieser Weise ausgeführtes Betongewölbe ohne Gelenke kann, wie durch Versuche nachgewiesen, als vollkommen elastisch angesehen werden, und seine Querschnittsabmessungen lassen sich daher genügend sicher mit Hülfe der Elastizitätstheorie berechnen.

2. Bogenbrücken mit Gelenken.

Durch verschiedene Ursachen, wie elastisches Zusammendrücken des Gewölbemauerwerks entweder infolge Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit oder durch Wärmeänderungen, ferner Ausweichen der Widerlager usw., sowie besonders bei der Ausrüstung des Bogens kann die Stützlinie unter Umständen bedeutend aus der Fugenmitte heraustreten.

Um dies zu vermeiden, wurden zuerst von Köpcke-Dresden im Jahre 1880 bei den Königlich Sächsischen Staatseisenbahnen Gelenke praktisch eingeführt.

Die Gelenke können aus Stein, Eisen und Blei hergestellt werden. Eisen- und Bleigelenke verursachen gröfsere Kosten als Steingelenke. Aufserdem wird die Unterbrechung eines massiven Bogens durch eiserne Teile dem ästhetischen Empfinden widersprechen.

Diese angeführten Gründe, sowie gute Versuchsergebnisse werden den Erbauer von massiven Bogenbrücken vielfach dazu veranlassen, die Gelenke aus Stein herzustellen. Wegen der hohen Pressungen an den Gelenkpunkten wird vorzugsweise Granit verwendet.

Als Gewähr dafür, dafs die Gelenke auch in Wirklichkeit den Bewegungen des Bogens folgen, werden zwischen den polierten Gelenkflächen in neuerer Zeit dünne Bleieinlagen angeordnet. Diese sollen gewissermafsen als dauerndes Schmiermittel dienen.

3. Form und Stärke der Brückengewölbe.

Die Form einer gewölbten Bogenbrücke und die Stärke des Brückengewölbes stehen im direkten Zusammenhange miteinander. Beide müssen den Belastungen des Bogens in richtiger Weise entsprechen.

Es wird vielfach die Ansicht vertreten, als Gewölbeform aus ästhetischen Rücksichten einen Halbkreis oder eine halbe Ellipse von vornherein festzulegen. Dies kann wohl mit Recht als ein Vorurteil bezeichnet werden. Selbstverständlich mufs das äufsere Aussehen eines Bauwerkes stets berücksichtigt werden. Am zweckmäfsigsten wird jedoch eine Bogenform gewählt, die den Belastungen und sonstigen Bedingungen der Aufgabe entspricht. Nachher könnte versucht werden, ob sich die Form des Bogens durch Abänderungen tatsächlich vorteilhafter gestaltet.

Die allgemein übliche Bogenform, welche auch bei vorliegender Brücke gewählt wurde, ist der Korbbogen, eine aus mehreren Kreisbögen zusammengesetzte, regelmäfsig verlaufende krumme Linie.

Für die Stärke des Gewölbes ist aufser der Pressung des Gewölbemauerwerkes noch die Ausweichung der Stützlinie von der Mittellinie des Bogens bei einseitiger Verkehrsbelastung mafsgebend.

4. Brückenfahrbahn.

Bei Eisenbahnbrücken wird auf der Fahrbahn im allgemeinen derselbe Oberbau verlegt, wie auf der freien Strecke. Das Bettungsmaterial besteht dann meistens aus Kies oder Steinschlag und ist wasserdurchlässig. An jeder Seite der Brücke werden schmale Fufswege angeordnet, die zugleich als Einfassung des Schwellenbettes dienen. In nicht zu grofsen Abständen erhalten die Fufswege noch erkerartige Auskragungen.

5. Entwässerungsanlagen.

Die Entwässerungsanlagen bei Betonbrücken bewirken entweder einen direkten Abflufs des Wassers von der Brückenfahrbahn, oder sie sollen das durch dieselbe ein-

gedrungene Sickerwasser ableiten. Eine rasche Abführung des Wassers und zwar auf dem einfachsten und sichersten Wege ist zweckmäfsig.

Die Ableitung des Wassers im Scheitel des Gewölbes hat den Vorzug, dafs sie nahe der Oberfläche liegt und bei Verstopfung durch Schmutz oder Eis einfach durchgestofsen wird. Jedoch ist hierbei der grofse Übelstand vorhanden, dafs bei Benutzung der Brückenöffnung als Durchfahrt der Abflufs des Wassers in der Mitte der Brücke sehr störend und unangenehm ist.

Häufig wird die Pfeilerentwässerung ausgeführt. Die Gefahr des Einfrierens ist bei dieser Anlage nicht so grofs, wie bei den anderen Arten der Wasserableitung, aber die Anlage gestaltet sich sehr kostspielig.

Die zweckmäfsigste Entwässerung ist demnach wohl die durch die Schenkel des Gewölbes und zwar über den Mittelpfeilern in doppelter Ausführung, d. h. daselbst für jeden Gewölbeschenkel eine eigene Entwässerung.

Diese letztbeschriebene Art der Wasserabführung ist auch bei vorliegender Brücke angewendet worden.

6. Pfeiler und Widerlager.

Die Mittelpfeiler und Endpfeiler oder Widerlager haben den Druck der Gewölbe aus Eigenlast und Verkehrslast, und aufserdem den Winddruck der Brücke einschliefslich Verkehrsband aufzunehmen. Bei Strombrücken müssen sie auch noch dem Stofse der Eismassen widerstehen. Diese Stützpunkte des Bauwerks müssen daher stark genug bemessen sein und auf ihre Standsicherheit unter Beachtung der zulässigen Pressung im Mauerwerk und des zulässigen Bodendruckes an der Fundamentsohle untersucht werden.

Zweiter Abschnitt.

Betonbogenbrücke mit Gelenken.

1. Beschreibung und Abmessungen der Brücke.

Für eine eingleisige Hauptbahn, welche über einen Flufs führt, soll eine Brücke von 100 m Länge und 20 m Höhe, über N.-W. gemessen, aus Stampfbeton hergestellt werden. Die Brücke erhält drei Öffnungen mit je 28 m Lichtweite. Die Gewölbe sind an den Kämpfern und im Scheitel mit Gelenken aus Granit versehen. Aus Abb. 1 ist die Form der Brücke ersichtlich.

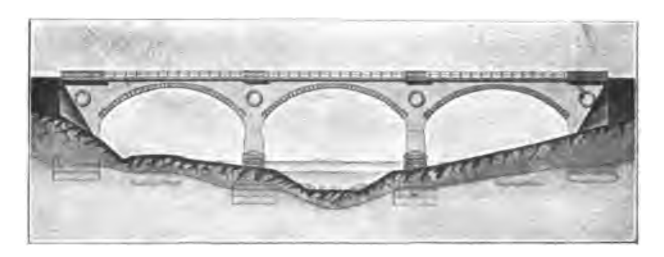


Abb. 1.

Durch die Einfügung der Gelenke entsteht eine erhebliche Vereinfachung in der Berechnung dadurch, dafs die statische Unbestimmtheit des Gewölbebogens beseitigt wird, und somit die Elastizitätstheorie keine Anwendung findet.

Die Abmessungen der Brücke sind folgende:

Lichtweite einer Öffnung . . . . $l_0 = 28{,}00^{m}$.

Stützweite einer Öffnung zwischen den Kämpfergelenken . . . . $l = 26{,}50^{m}$.
Pfeilhöhe des Bogens zwischen den Gelenken gemessen . . . . $f = 5{,}70^{m}$.
Pfeilverhältnis . . . . $= \text{rd.} \frac{1}{5}$.
Gewölbestärke im Scheitel . . . . $d_0 = 0{,}70^{m}$.
Gewölbestärke an den Kämpfern . . . . . $d_1 = 0{,}80^{m}$.
Stärke der Bruchfugen des Gewölbes . . . $d_2 = 1{,}00^{m}$.
Nutzbare Breite der Brücke . . . . $T = 4{,}50^{m}$.

2. Belastungsannahmen und zulässige Beanspruchungen.

Für die Berechnung der Brücke sind folgende Annahmen zugrunde gelegt:

1 ^{cbm} Beton . . . . . . $= 2300^{kg}$.
1 ^{cbm} Kiesbettung . . . $= 1600^{kg}$.

Als Lokomotivbelastung werden $3 \cdot 14 = 42^{t}$ angenommen. Die einzelnen Abmessungen sind aus Abb. 2 ersichtlich.

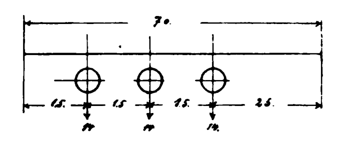


Abb. 2.

Für die zeichnerische Behandlung der Stützlinie ist es am zweckmäfsigsten, die verschiedenen Belastungshöhen auf eine einheitliche, und zwar auf die des Betons zu reduzieren. Demnach beträgt die Belastungshöhe der Kiesbettung von $0{,}80^{m}$ Stärke:

$$0{,}80 \cdot \frac{1600}{2300} = 0{,}56^{m}.$$

Für die Gewölbeuntersuchung wird die Last einer Lokomotive zweckmäfsig als gleichmäfsig verteilt ange-

nommen und zwar auf eine Länge von 6,0 m und eine Tiefe von 4,1 m (Abb. 3).

Dabei ist beachtet, dafs sich der Druck im Beton unter einem Winkel von etwa 60° bis auf die Oberkante des Gewölbes verteilt. Demnach ergibt sich als gleichmäfsig verteilte Belastung:

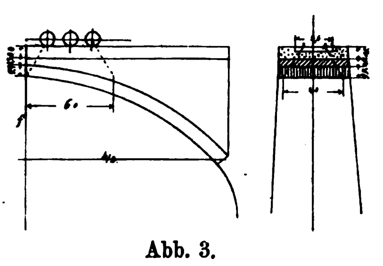


Abb. 3.

$$\frac{3 \cdot 14\,000}{6{,}0} = 7000 \text{ kg}$$

für das lfd. m und die ganze Tiefe von 4,1 m.

Auf 1,0 m Tiefe ist:

$$q_0 = \frac{7000}{4{,}1} = \infty\, 1700 \text{ kg}.$$

Auf Beton reduziert wird die Belastungshöhe:

$$q = \frac{1700}{2300} = 0{,}74 \text{ m}.$$

Die Abmessungen der Brücke sind so gewählt, dafs die gröfsten Druckbeanspruchungen des Betons in allen Querschnitten der Gewölbe 28 kg/cm² und in den Querschnitten der Pfeiler und Widerlager 18 kg/cm² nicht überschreiten.

Geringe Zugbeanspruchungen im Gewölbe werden zugelassen.

Der gröfste Bodendruck beträgt bei gutem, tragfähigem Boden 5 kg/cm².

Dritter Abschnitt.

Stützlinien und Bogenform.

1. Eigenschaften und verschiedene Arten der Stützlinie.

Unter der Stützlinie sei eine materiell gedachte Linie verstanden, welche unter der Einwirkung der äufseren Kräfte (Belastungen) nur auf Druck in ihrer Längenrichtung beansprucht wird, also ohne Biegungsspannungen zu erleiden.

Gerstner, welcher im Jahre 1831 die Theorie der Stützlinie aufstellte, begründete dieselbe auf die Annahme, dafs das Gleichgewicht bei einem Gewölbe sich ebenso herstellen läfst, nur in umgekehrter Lage, wie bei einer an beiden Seiten aufgehängten Kette mit der gleichen Belastung.

Wenn hiernach die äufseren Kräfte bei einer Stützlinie eine entgegengesetzte Richtung annehmen, so geht dieselbe in die Kettenlinie über. Die auf Druck beanspruchte Stützlinie entspricht dann der auf Zug beanspruchten Kettenlinie.

Von der oben beschriebenen Stützlinie ist die Drucklinie oder Mittellinie des Druckes zu unterscheiden, d. h. die Verbindungslinie der Durchstofspunkte (Druckmittelpunkte) der Mittelkraftslinien mit den einzelnen Normalfugen des Gewölbes (Schnitte senkrecht zur Gewölbeachse).

Bei Gewölben aus Stampfbeton, Bruchsteinen oder Ziegelsteinen wird die einfachere Konstruktion der Stützlinie der der Drucklinie vorgezogen.

Die drei Arten von Stützlinien, für Eigengewicht, für volle Belastung und für einseitige Belastung, werden in den Gewölbebogen eingezeichnet.

2. Konstruktion der Stützlinie.

Bei Gelenkbogenbrücken wird für jede Belastung die Stützlinie so konstruiert, dafs sie durch die drei Gelenkpunkte an den Kämpfern und im Scheitel geht. Sie ist dann ihrem ganzen Verlaufe nach bestimmt.

Für die Konstruktion der Stützlinie für irgend eine Belastung wird das gesamte Gewölbe in lotrechte Streifen von etwa 1,0 m Breite eingeteilt (Abb. 4). Diese Lamellen werden als Einzellasten wirkend angenommen. Zu dem gezeichneten Krafteck mit vorläufig beliebigem Pol wird die Lage der Mittelkraft einer Gewölbehälfte ermittelt. Durch die gegebene Richtung des Horizontalschubes und der gefundenen Mittelkraft läfst sich durch ein Krafteck Richtung und Gröfse des Kämpferdruckes finden.

Abb. 4.

Nachdem mit Hülfe der so ermittelten Kämpferdrucklinien bei dem Krafteck der richtige Pol für die betreffende Belastungsart gefunden ist, läfst sich die Stützlinie (das Seileck) in den Gewölbebogen einzeichnen (Tafel I).

3. Die Bogenform.

Das Gewölbe wird derart konstruiert, dafs die Stützlinie für Eigenlast mit der Mittellinie des Bogens zusammenfällt, und dafs diejenige für einseitige Belastung innerhalb des Kernes bleibt, um Zugbeanspruchungen möglichst zu vermeiden.

Für die Entwurfsbearbeitung ist es angenehm, eine geeignete Versuchsform von vornherein zu finden, wobei dann nur noch geringe Abänderungen erforderlich sind.

Mit der Veränderung der Form des Bogens ändert sich aber auch das Eigengewicht. Die zweckmäfsigste Bogenform läfst sich daher im allgemeinen nur auf dem Wege wiederholter Versuche auffinden, wobei Rechnung und zeichnerische Ermittelung zweckmäfsig miteinander verbunden werden.

Dieses sogenannte Versuchsverfahren erfordert indessen schon die Zugrundelegung einer Bogenform. Hierfür wird am zweckmäfsigsten ein Kreisbogen gewählt, der durch die drei Gelenkpunkte an den Kämpfern und im Scheitel gehen mufs. Hierauf wird die Stützlinie für Eigengewicht eingezeichnet, welche zugleich als Mittellinie der neuen Bogenform zunächst angenommen wird. Für diese neue Bogenform wird nun eine neue Stützlinie für das veränderte Eigengewicht eingezeichnet und dieses Versuchsverfahren mufs so oft wiederholt werden, bis die Stützlinie für Eigenlast mit der Mittellinie der durch diese Versuche ermittelten Bogenform hinreichend genau übereinstimmt.

Bei Einzeichnung der Stützlinie für volle Belastung mufs berücksichtigt werden, dafs die Gewölbestärken im Scheitel und an den Kämpfern ausreichend sind, damit die zulässige Beanspruchung nicht überschritten wird.

Die Stützlinie für einseitige Belastung mufs, wie bereits erwähnt, innerhalb des Kernes verbleiben, damit möglichst keine Zugbeanspruchungen auftreten. An der Stelle, wo die gröfste Abweichung von der Mittellinie des Bogens auftritt, befindet sich die sogenannte Bruchfuge. Diese mufs gleichfalls stark genug bemessen sein, damit die gröfsten zulässigen Beanspruchungen unter Berücksichtigung der Exzentrizität innerhalb der zulässigen Grenzen bleiben.

Vierter Abschnitt.

Beanspruchungen in den Gewölbefugen.

1. Ermittelung durch Rechnung.

Nachdem die Form und die Stärke des Gewölbes den verschiedenen Stützlinien in entsprechender Weise angepafst sind, werden die bezüglichen Beanspruchungen in den einzelnen Fugen des nun endgültigen Gewölbes mit den darin eingezeichneten Stützlinien ermittelt.

Die gefundenen Werte sind aus den sogenannten Spannungsdiagrammen ersichtlich (Tafel I).

Für eine bestimmte Fuge werden die Maximal- und Minimalbeanspruchungen mit S_o bezw. S_u bezeichnet. (Abb. 5.)

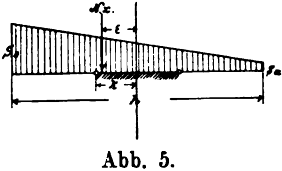


Abb. 5.

Die Resultierende R einer Fuge läfst sich aus dem entsprechenden Krafteck als Parallele zu der bezüglichen Seileckliinie nach Gröfse und Richtung entnehmen. Durch Zerlegung in die Normal- und Tangentialkraft lassen sich die Werte von N_x bezw. T_x ermitteln. (Abb. 6.) Aufser der Normalkraft N_x sind noch der Abstand derselben von der Mittellinie des Gewölbes, mit ε bezeichnet, sowie auch der Querschnitt der Fuge mafsgebend.

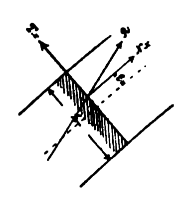


Abb. 6.

Die gleichmäfsig verteilte Beanspruchung sei S_1; die Zusatzspannung aus dem Biegungsmoment $N_x \cdot \varepsilon$ infolge Ausweichens der Stützlinie von der Mittellinie der Fuge soll mit S_2 bezeichnet werden. Diese wird entsprechend an den äufsersten Kanten der Fuge zu der gleichmäfsig verteilten Beanspruchung hinzuaddiert bezw. von derselben subtrahiert. Die gröfste Beanspruchung tritt an der Seite der Fuge auf, welche der Normalkraft N_x am nächsten liegt.

Unter Benutzung von Abb. 5 und Abb. 6 ist:

$$S_1 = \frac{N_x}{F} \tag{1}$$

$$S_2 = \frac{M_x}{W}. \tag{2}$$

$$M_x = N_x \cdot \varepsilon \text{ (Abb. 6)}$$

$$W = \frac{d h^2}{6} \text{ (Abb. 7).}$$

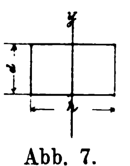


Abb. 7.

Hierbei gibt h die Stärke der Gewölbefuge und d die Tiefe derselben an. Letztere ist durchgehend zu $1{,}0^{\text{m}}$ angenommen.

Durch Zusammenziehung der Gleichungen 1 und 2 ergibt sich:

$$S_{\substack{o\\u}} = S_1 \pm S_2$$

$$S_{\substack{o\\u}} = \frac{N_x}{F} \pm \frac{M_x}{W}. \tag{3}$$

Durch weitere Umformung wird:

$$S_{\substack{o\\u}} = \frac{N_x}{F} \pm \frac{N_x \cdot \varepsilon \cdot 6}{d \cdot h^2}$$

$$S_{\substack{o\\u}} = \frac{N_x}{F} \pm \left(1 \pm \frac{6 \cdot \varepsilon}{h}\right)$$

$$S_{\substack{o\\u}} = \frac{N_x}{F} \left(\frac{h/6 \pm \varepsilon}{h/6}\right).$$

Da nun $h/6 = k =$ halbe Kernweite, ist:

$$S_{o \atop u} = \frac{N_x}{F}\left(\frac{k \pm \varepsilon}{k}\right). \qquad 4)$$

Die mit Hülfe von Gleichung 4 ausgerechneten Werte für S_o bezw. S_u werden an jeder Seite der Fuge entsprechend aufgetragen und die Endpunkte miteinander verbunden (Abb. 5).

Bei der Spannungsverteilung können drei Fälle unterschieden werden. Die Nullachse, d. h. die Grenze, an der die Beanspruchung $= 0$ ist, liegt dann entsprechend aufserhalb des Querschnittes oder in der Kante desselben oder aber im Querschnitt der Fuge.

Bei ersterer Lage der Nullinie ist $S_1 > S_2$, es treten also nur Druckbeanspruchungen auf, und die Normalkraft N_x liegt innerhalb der Kernweite (Abb. 8).

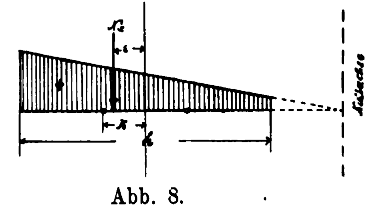


Abb. 8.

Ist $S_1 = S_2$, so treten zwar auch nur Druckbeanspruchungen auf, aber auf der einen Seite des Querschnittes ist die Beanspruchung $= 0$. N_x fällt in die entgegengesetzte Kerngrenze, und die Nullachse geht durch die Kante des Querschnittes (Abb. 9).

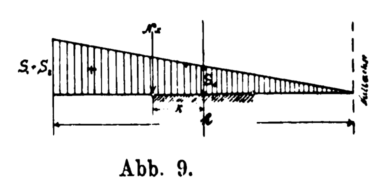


Abb. 9.

Bei dem dritten Fall ist $S_2 > S_1$. N_x liegt dann aufserhalb der Kerngrenze und die Nullachse innerhalb des Querschnittes. Hierbei treten auch Zugbeanspruchungen auf. (Abb. 10.)

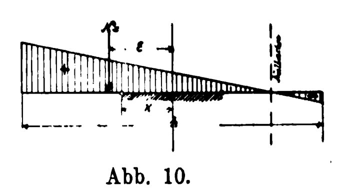


Abb. 10.

2. Kernmomente.

Die halbe Kernweite ist mit k bezeichnet. Aus Gleichung 3 ergibt sich:

$$S_{\substack{o\\u}} = \frac{N_x}{F} \pm \frac{N_x \cdot \varepsilon}{F \cdot k};$$

Denn:

$$W = \frac{d h^2}{6} = F \cdot \frac{h}{6} = F \cdot k.$$

Abb. 11.

Obige Formel noch etwas vereinfacht gibt:

$$S_{\substack{o\\u}} = \frac{N_x (k \pm \varepsilon)}{F \cdot k}. \tag{5}$$

Unter Benutzung der Abb. 11 ist:

$$k + \varepsilon = \eta_1$$
$$k - \varepsilon = \eta_2.$$

Mithin ist die Maximalbeanspruchung:

$$S_o = \frac{N_x \cdot \eta_1}{F \cdot k}. \tag{6}$$

Die Minimalbeanspruchung:

$$S_u = \frac{N_x \cdot \eta_2}{F \cdot k}. \tag{7}$$

$N_x \cdot \eta_1$ ist das Kernmoment für die gröfste Beanspruchung S_o.

$N_x \cdot \eta_2$ ist das Kernmoment für die kleinste Beanspruchung S_u.

Wird in den Gleichungen 6 und 7 $\frac{N_x}{F} = S_1$ gesetzt, so ist:

$$S_o = S_1 \cdot \frac{\eta_1}{k} \tag{8}$$

$$S_u = S_1 \frac{\eta_2}{k}. \tag{9}$$

Es verhält sich demnach:

$$S_o : S_1 = \eta_1 : k$$

und

$$S_u : S_1 = \eta_2 : k.$$

Oder es verhält sich:

$$S_o : S_u = \eta_1 : \eta_2. \qquad 10)$$

3. Zeichnerische Ermittelung der Beanspruchungen.

Die Stärke der Fuge soll mit h bezeichnet werden. Von der Mitte aus wird nach beiden Seiten die halbe Kernweite k abgetragen, wodurch der Kern des Querschnittes, sowie die beiden Kernpunkte gegeben sind. Nachdem die Lage und Gröfse der Normalkraft N_x mit ihrem zugehörigen Abstande ε aus der Gewölbezeichnung ermittelt in die Spannungsfigur eingezeichnet sind, wird auf der Mittellinie der Fuge der Wert $S_1 = \frac{N_x}{F}$ abgetragen und der Endpunkt derselben mit den beiden Kernpunkten verbunden. Die eine Verbindungslinie wird bis zum Schnitt mit N_x verlängert. Somit wird die Normalkraft in zwei Punkten von diesen Verbindungslinien getroffen. Es werden darauf durch diese Schnittpunkte Parallelen zur Grundlinie gezogen und dadurch an den Kanten des Querschnittes entsprechend S_o und S_u erhalten. Die beiden Endpunkte dieser Werte werden miteinander verbunden, und die Verbindungslinie mufs durch den Endpunkt von S_1 gehen (Abb. 12).

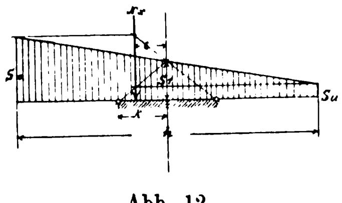


Abb. 12.

Der Beweis für die Richtigkeit der Konstruktion ist bereits durch die Gleichungen 1 bis 10 gegeben.

4. Ermittelung der Beanspruchungen mit Hülfe des Trägheitshalbmessers.

Das Trägheitsmoment eines Massenkörpers (Abb. 13) ist:

$$J = \Sigma m \cdot r^2$$

$$J = M . r^2. \qquad 11)$$

Wird nun $r = i$ gesetzt, so ist:

$$J = M \cdot i^2. \qquad 12)$$

Diese Gleichung auf eine Fläche bezogen gibt:

Abb. 13.

$$J = F \cdot i^2$$

oder:

$$i = \sqrt{\frac{J}{F}}, \qquad 13)$$

wobei i der Trägheitshalbmesser ist.

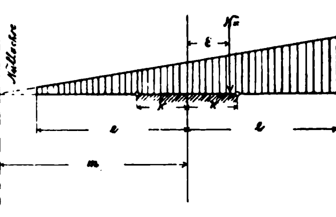


Abb. 14.

Unter Berücksichtigung der Nullachse (Abb. 14) ist:

$$\frac{N_x}{F} = \frac{N_x \cdot \varepsilon \cdot m}{J} \qquad 14)$$

oder:

$$\frac{J}{F} = m \cdot \varepsilon. \qquad 15)$$

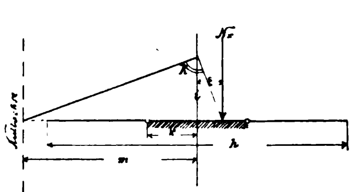


Abb. 15.

Nach Gleichung 13 ist $\frac{J}{F} = i^2$, folglich ist auch (Abb. 15):

$$i^2 = m \cdot \varepsilon \qquad 16)$$

oder: $m : i = i : \varepsilon$. 16a)

Hiernach die zeichnerische Ermittelung von S_o und S_u (Abb. 16).

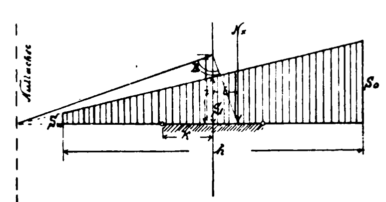


Abb. 16.

Der Trägheitshalbmesser i aus Gleichung 13 wird auf der Mittellinie der Fuge aufgetragen und der so erhaltene

Punkt mit dem innerhalb oder aufserhalb des Kernes der Fuge liegenden Angriffspunkt von N_x verbunden. Auf dieser Verbindungslinie wird bei dem Schnittpunkte mit i ein Lot errichtet, welches die Verlängerung der Fuge schneidet. Durch diesen Schnittpunkt geht die Nullinie. Aus Gleichung 1 wird der ausgerechnete Wert von S_1 auf der Mittellinie abgetragen und der Endpunkt mit dem Schnittpunkt von Nullinie und Fugenverlängerung verbunden. Die Verbindungslinie und deren Verlängerung über die Mitte hinaus schneidet an den Enden der Fuge die Strecken S_o und S_u ab. Diese Werte sind in demselben Mafsstabe abzulesen, in welchem S_1 aufgetragen ist (Abb. 16).

Fünfter Abschnitt.

Rechnerische Untersuchung einer Fuge.

1. Eigengewicht.

Abb. 17 ist in verzerrtem Maſsstabe gezeichnet.

Die Ordinaten der Fugenmitte sind:

$x = 7{,}25^m$

$y = 4{,}80^m$.

G sei die Mittelkraft der Gewölbehälfte, R diejenige aus dem Gewölbeteil vom Auflager bis zur betreffenden Fuge.

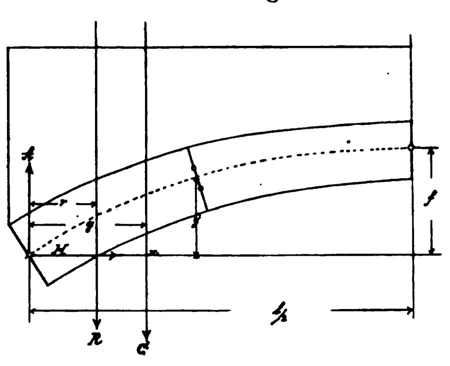


Abb. 17.

Abstand der Mittelkraft G vom Auflager:

$$g = \frac{\Sigma_0^{l/2} P \cdot x}{G} = \frac{231{,}1 \cdot 2{,}3}{49{,}2 \cdot 2{,}3} = 4{,}7^m.$$

Abstand der Mittelkraft R vom Auflager:

$$r = \frac{\Sigma_0^x P \cdot x}{R} = \frac{102{,}6 \cdot 2{,}3}{36{,}5 \cdot 2{,}3} = 2{,}81^m.$$

Stützweite . . . $l = 26{,}50^m$

Pfeilhöhe . . . $f = \ 5{,}70^m$.

Eigengewicht einer Gewölbehälfte: $G = 113{,}0^{t}$.

Eigengewicht des Gewölbeteiles bis zur betreffenden Fuge: $R = 84{,}0^{t}$ (Tafel I).

Stärke der Fuge: $h = 1{,}0^{m}$
Tiefe der Fuge: $d = 1{,}0^{m}$.

a) Auflagerdruck:

$$A = B = 113{,}0^{t}.$$

b) Horizontalschub:

$$A\frac{l}{2} - H \cdot f - G\left(\frac{l}{2} - g\right) = 0 \qquad 17)$$

$$H = \frac{A\frac{l}{2} - G\frac{l}{2} + G \cdot g}{f}$$

$$H = \frac{G \cdot g}{f} = \frac{113 \cdot 4{,}7}{5{,}7}$$

$$H = 93{,}0^{t}.$$

c) Querkraft:

$$V_x = A - R$$

$$V_x = 113{,}0 - 84{,}0$$

$$V_x = 29{,}0^{t}.$$

d) Biegungsmoment:

Die Stützlinie für Eigengewicht fällt mit der Mittellinie des Gewölbes zusammen. Mithin mufs das Moment $= 0$ werden, und S_o wird gleich S_u.

$$M_x = A \cdot x - H \cdot y - R(x - r) \qquad 19)$$

$$M_x = 113{,}0 \cdot 7{,}25 - 93{,}0 \cdot 4{,}8 - 84 \cdot 4{,}44$$

$$M_x = 0.$$

e) Normalkraft (Abb. 18):

Der Winkel φ_x beträgt $18^0 30'$,

also: $\sin \varphi_x = \backsim 0{,}32$

$\cos \varphi_x = \backsim 0{,}95$.

$$N_x = V_x \cdot \sin \varphi_x + H \cdot \cos \varphi_x \qquad 20)$$

$$N_x = 29{,}0 \cdot 0{,}32 + 93{,}0 \cdot 0{,}95$$

$$N_x = 98{,}0^{\,t}.$$

Abb. 18.

f) Beanspruchungen:

$d = 100^{\,cm}$; $h = 100^{\,cm}$, also

$$W = \frac{d h^2}{6} = \frac{1\,000\,000}{6}\ {}^{cm^3}$$

$$F = d \cdot h = 10\,000^{\,cm^2}$$

$$S_{\substack{o\\u}} = \frac{N_x}{F} \pm \frac{M_x}{W} \qquad 21)$$

$$S_{\substack{o\\u}} = \frac{98\,000}{10\,000} \pm 0$$

$$S_o = S_u = 9{,}8\ {}^{kg}/_{cm^2}.$$

2. Volle Belastung.

Diese Untersuchung ist für eine Fuge innerhalb einer Gewölbehälfte nicht erforderlich, da die gröfsten Beanspruchungen hieraus gegenüber denen aus der einseitigen Belastung gering sind. Die Untersuchung für volle Belastung ist für die Fugen im Scheitel und an den Kämpfern ausschlaggebend.

3. Einseitige Belastung.

Abb. 19 ist gleichfalls in verzerrtem Mafsstabe gezeichnet.

Die gleichmäfsig verteilte Last der Lokomotiven $q = 1{,}7^{\,t}$ für das lfd. ^{m} und $1{,}0^{\,m}$ Tiefe.

Das Gewölbe reicht 0,25 m über beide Auflager hinaus. Die Auflast bis zur Mitte ist demnach:

$$q\cdot\left(\frac{l}{2}+0{,}25\right)=1{,}7\cdot 13{,}5=22{,}95^{\,t}\,.$$

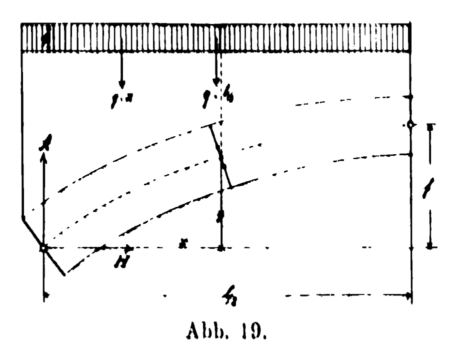


Abb. 19.

Die Auflast bis zur betreffenden Fuge in 7,25 m Entfernung von A:

$$q\cdot(x+0{,}25)=12{,}75^{\,t}\,.$$

a) Auflagerdruck:

$$A\cdot l-q\cdot\left(\frac{l}{2}+0{,}25\right)\left[l-\frac{\frac{l}{2}+0{,}25}{2}\right]=0 \qquad 22)$$

$$A=\frac{q\left(\frac{l}{2}+0{,}25\right)\left[l-\frac{\frac{l}{2}+0{,}25}{2}\right]}{l}$$

$$A=\frac{22{,}95\cdot 19{,}75}{26{,}5}=17{,}10^{\,t}\,.$$

b) Horizontalschub:

$$A\,\frac{l}{2}-H\cdot f-q\left(\frac{l}{2}+0{,}25\right)\cdot\frac{\frac{l}{2}+0{,}25}{2}=0 \qquad 23)$$

$$H = \frac{A \cdot \frac{l}{2} - q\left(\frac{l}{2} + 0{,}25\right) \cdot \frac{\frac{l}{2} + 0{,}25}{2}}{f}$$

$$H = \frac{17{,}1 \cdot 13{,}25 - 22{,}95 \cdot 6{,}75}{5{,}7}$$

$$H = 12{,}57^{\,\mathrm{t}}.$$

c) Querkraft:

$$V_x = A - q\,(x + 0{,}25) \qquad 24)$$

$$V_x = 17{,}1 - 12{,}75$$

$$V_x = 4{,}35^{\,\mathrm{t}}.$$

d) Biegungsmoment:

Bei der einseitigen Belastung links, also direkt über der zu untersuchenden Fuge, liegt die Stützlinie nahe dem oberen Kernrand. Das Moment wird somit positiv und die gröfste Beanspruchung ist S_o.

Für die einseitige Belastung rechts für dieselbe Fuge wird das Moment negativ. Die Stützlinie liegt nahe dem unteren Kernrand, also gröfste Beanspruchung ist S_u.

$$M_x = A \cdot x - H \cdot y - q \cdot (x + 0{,}25)\,\frac{x + 0{,}25}{2} \qquad 25)$$

$$M_x = 17{,}1 \cdot 7{,}25 - 12{,}57 \cdot 4{,}8 - 12{,}75 \cdot 3{,}75$$

$$M_x = 15{,}83^{\,\mathrm{mt}}.$$

e) Normalkraft (Abb. 18):

$$N_x = V_x \cdot \sin \varphi_x + H \cdot \cos \varphi_x \qquad 26)$$

$$N_x = 4{,}35 \cdot 0{,}32 + 12{,}57 \cdot 0{,}95$$

$$N_x = 13{,}33^{\,\mathrm{t}}.$$

f) Beanspruchungen:

$$h = 100^{\text{cm}}; \quad d = 100^{\text{cm}}.$$

$$W = \frac{dh^2}{6} = \frac{1\,000\,000}{6}{}^{\text{cm}^3}$$

$$F = d \cdot h = 10\,000^{\text{cm}^2}$$

$$S_{\substack{o\\u}} = \frac{N_x}{F} + \frac{M_x}{W} \tag{27}$$

$$S_{\substack{o\\u}} = \frac{13\,330}{10\,000} + \frac{1\,583\,000 \cdot 6}{1\,000\,000}$$

$$S_{\substack{o\\u}} = 1{,}3 + 9{,}5$$

$$S_o = +\,10{,}8\ ^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2}$$

$$S_u = -\,8{,}2\ ^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2}.$$

Werden zu diesen Beanspruchungen diejenigen aus Eigenlast entsprechend addiert, so ergeben sich die Gesamtbeanspruchungen für einseitige Belastung zu:

$$S_o = 10{,}8 + 9{,}8$$

$$S_o = 20{,}6\ ^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2}$$

und

$$S_u = 9{,}8 - 8{,}2$$

$$S_u = 1{,}6\ ^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2}.$$

Sechster Abschnitt.

Einflufslinien.

1. Horizontalschub.

a) Aufstellung der allgemeinen Gleichungen.

Nach Abb. 20 ist:

$$V_A \cdot l = P_1 (l - a).$$

Mithin ist der Auflagerdruck:

$$V_A = \frac{P_1 (l - a)}{l}. \quad 28)$$

Für $P_1 = 1$ ist

$$V_A = \frac{l - a}{l}. \quad 29)$$

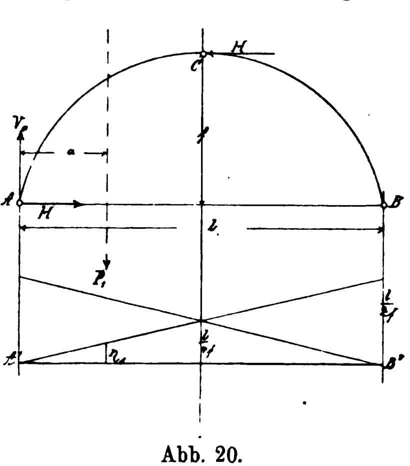


Abb. 20.

Der Horizontalschub einer beliebigen Fuge im Abstande a vom Auflager ergibt sich aus der Gleichung:

$$V_A \cdot \frac{l}{2} - H \cdot f - P_1 \left(\frac{l}{2} - a\right) = 0. \quad 30)$$

Daraus folgt:

$$H = \frac{V_A \cdot \frac{l}{2} - P_1 \left(\frac{l}{2} - a\right)}{f}. \quad 31)$$

Wird in Gl. 31 der Wert für V_A eingesetzt, so ist für $P_1 = 1$:

$$H = \frac{\left(\frac{l-a}{l}\right)\frac{l}{2} - \frac{l-2a}{2}}{f}$$

$$H = \frac{a}{2f}. \qquad 32)$$

Hiernach läfst sich die Einflufslinie für den Horizontalschub zeichnen (Abb. 20). Mit $a = 0$ beginnend, endigt sie mit $a = l$, mithin ist hier

$$H = \frac{l}{2f}. \qquad 33)$$

Für die Mitte des Gewölbes, also für $a = \frac{l}{2}$, ist

$$H = \frac{l}{4f}. \qquad 34)$$

Mit Hülfe dieser Einflufslinie kann nun der Horizontalschub für jeden beliebigen Punkt des Gewölbes und jede beliebige Einzellast abgelesen werden.

Z. B. für P_1, P_2 .... ist:

$$H_1 = P_1 \cdot \eta_1$$
$$H_2 = P_2 \cdot \eta_2 \ldots.$$

Diese einzelnen Werte addiert geben dann den Horizontalschub:

$$H = P_1 \cdot \eta_1 + P_2 \cdot \eta_2 + \ldots.$$

oder:

$$H = \Sigma_0^l \, P \cdot \eta. \qquad 35)$$

Der Horizontalschub für gleichmäfsig verteilte Belastung ist nach Abb. 21:

$$H = F \cdot q, \qquad 36)$$

wobei F = Fläche der Einflufslinie und q = Belastung pro lfd. ^{m} ist.

Der Horizontalschub für einseitige Belastung ohne Berücksichtigung des Eigengewichtes ergibt sich genau in derselben Weise (Abb. 21). Für eine beliebige Fuge ist:

$$H = \varphi \cdot q \qquad 37)$$

wobei φ die Fläche der Einflufslinie bedeutet.

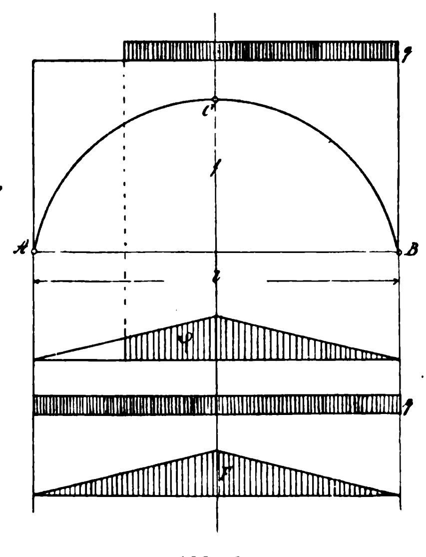


Abb. 21.

b) Ermittelung des Horizontalschubes für Eigengewicht und einseitige Belastung.

Nach Gleichung 35 ist

$$H = \Sigma_0^l P \cdot \eta.$$

Aus Tafel I ist ersichtlich, dafs das gesamte Gewölbe in 28 Lamellen geteilt, und jede als Einzelkraft wirkend angenommen ist. Danach wird der Horizontalschub

$$H = \Sigma_1^{28} P \cdot \eta.$$

Es ist:

$$
\begin{aligned}
P_1 \cdot \eta_1 &= 9{,}48 \cdot 0 = 0 \quad {}^{t} \\
P_2 \cdot \eta_2 &= 16{,}64 \cdot 0{,}07 = 1{,}09 \text{ „} \\
P_3 \cdot \eta_3 &= 13{,}45 \cdot 0{,}15 = 2{,}02 \text{ „} \\
P_4 \cdot \eta_4 &= 11{,}73 \cdot 0{,}24 = 2{,}82 \text{ „} \\
P_5 \cdot \eta_5 &= 10{,}12 \cdot 0{,}33 = 3{,}32 \text{ „} \\
P_6 \cdot \eta_6 &= 8{,}86 \cdot 0{,}42 = 3{,}72 \text{ „} \\
P_7 \cdot \eta_7 &= 7{,}80 \cdot 0{,}50 = 3{,}90 \text{ „} \\
P_8 \cdot \eta_8 &= 6{,}90 \cdot 0{,}58 = 4{,}00 \text{ „} \\
P_9 \cdot \eta_9 &= 6{,}09 \cdot 0{,}67 = 4{,}08 \text{ „} \\
P_{10} \cdot \eta_{10} &= 5{,}47 . 0{,}76 = 4{,}14 \text{ „} \\
P_{11} \cdot \eta_{11} &= 4{,}92 \cdot 0{,}84 = 4{,}14 \text{ „} \\
P_{12} \cdot \eta_{12} &= 4.48 \cdot 0{,}93 = 4{,}16 \text{ „} \\
P_{13} \cdot \eta_{13} &= 4{,}21 \cdot 1{,}02 = 4{,}26 \text{ „} \\
P_{14} \cdot \eta_{14} &= 4{,}03 \cdot 1{,}10 = 4{,}44 \text{ „} \\
\hline
& \Sigma_1^{14} P \cdot \eta = 46{,}09^{t}.
\end{aligned}
$$

Danach:

$$
\begin{aligned}
H &= 2 \cdot \Sigma_1^{14} P \cdot \eta \\
H &= 2 \cdot 46{,}09 \\
H &= 92{,}2^{t}.
\end{aligned}
$$

Der gesamte Horizontalschub für die einseitige Belastung ist nach Gleichung 35 und 37:

$$H = \Sigma_0^{l} P \cdot \eta + \varphi \cdot q.$$

Diese beiden Werte addiert, geben:

$$H = 92{,}2 + \frac{\frac{l}{2} \cdot \frac{l}{4f}}{2} \cdot 1{,}7$$

$$H = 92{,}2 + \frac{13{,}25 \cdot 1{,}16}{2} \cdot 1{,}7$$

$$H = 105{,}3^{t}.$$

2. Querkraft.

a) Aufstellung der allgemeinen Gleichungen.

Nach Gleichung 28 ist der Auflagerdruck

$$V_A = \frac{P_1 \cdot (l - a)}{l} \text{ (Abb. 22).}$$

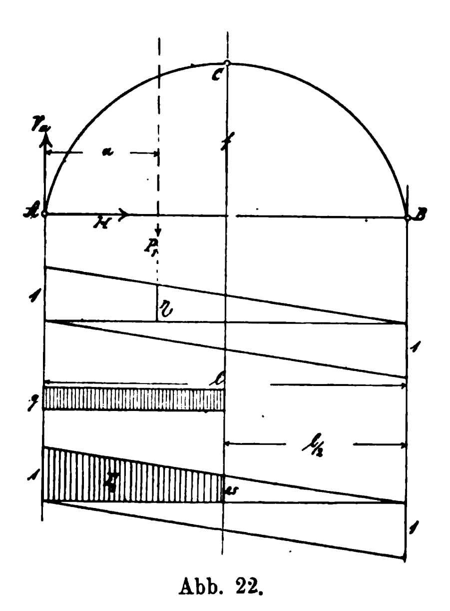


Abb. 22.

Die Ermittelung der Querkraft ist ähnlich wie die des Horizontalschubes. Denn für $P_1 = 1$ ist:

$$V_A = \frac{l - a}{l} \text{ (vergl. Gleichung 29).}$$

Für $a = 0$ ist:

$$V_A = \frac{l}{l} = 1. \qquad 38)$$

Für $a = l$ ist:

$$V_A = \frac{l - l}{l} = 0. \qquad 39)$$

Hiernach läfst sich die Einflufslinie für die Querkraft zeichnen. Bei Betrachtung der Querkraft für die Einzellasten P_1, P_2 usw. ist:

$$V_1 = P_1 \cdot \eta_1$$
$$V_2 = P_2 \cdot \eta_2 \ldots.$$

Diese Werte addiert geben die Querkraft:

$$V = \Sigma_0^l P \cdot \eta. \qquad 40)$$

Für die einseitige Belastung, ohne Berücksichtigung der Eigenlast ist:

$$V = F_\eta \cdot q, \qquad 41)$$

wobei F_η die Fläche der Einflufslinie bedeutet.

b) Rechnung der Auflagerdrücke für Eigengewicht und einseitige Belastung.

Nach Gleichung 40 ist:

$$V = \Sigma_0^l P \cdot \eta.$$

Oder für die Kräfte 1 bis 28 (Eigenlast):

$$V = \Sigma_1^{28} P \cdot \eta.$$

Diese Querkraft ist gleich dem Auflagerdruck:

$$P_1 \cdot \eta_1 = 4{,}12 \cdot 1{,}00 = 4{,}12 \text{ cbm}$$
$$P_2 \cdot \eta_2 = 6{,}80 \cdot 0{,}97 = 6{,}60 \;\text{„}$$
$$P_3 \cdot \eta_3 = 5{,}85 \cdot 0{,}94 = 5{,}50 \;\text{„}$$
$$P_4 \cdot \eta_4 = 5{,}10 \cdot 0{,}91 = 4{,}64 \;\text{„}$$
$$P_5 \cdot \eta_5 = 4{,}40 \cdot 0{,}88 = 3{,}87 \;\text{„}$$
$$P_6 \cdot \eta_6 = 3{,}85 \cdot 0{,}84 = 3{,}23 \;\text{„}$$
$$P_7 \cdot \eta_7 = 3{,}39 \cdot 0{,}80 = 2{,}71 \;\text{„}$$

$$
\begin{aligned}
P_8 \cdot \eta_8 &= 3{,}00 \cdot 0{,}76 = 2{,}28 \text{ cbm} \\
P_9 \cdot \eta_9 &= 2{,}65 \cdot 0{,}72 = 1{,}90 \text{ „} \\
P_{10} \cdot \eta_{10} &= 2{,}38 \cdot 0{,}68 = 1{,}62 \text{ „} \\
P_{11} \cdot \eta_{11} &= 2{,}14 \cdot 0{,}64 = 1{,}36 \text{ „} \\
P_{12} \cdot \eta_{12} &= 1{,}95 \cdot 0{,}60 = 1{,}17 \text{ „} \\
P_{13} \cdot \eta_{13} &= 1{,}85 \cdot 0{,}56 = 1{,}02 \text{ „} \\
P_{14} \cdot \eta_{14} &= 1{,}75 \cdot 0{,}52 = 0{,}90 \text{ „} \\
P_{15} \cdot \eta_{15} &= 1{,}75 \cdot 0{,}48 = 0{,}84 \text{ „} \\
P_{16} \cdot \eta_{16} &= 1{,}85 \cdot 0{,}45 = 0{,}82 \text{ „} \\
P_{17} \cdot \eta_{17} &= 1{,}95 \cdot 0{,}41 = 0{,}80 \text{ „} \\
P_{18} \cdot \eta_{18} &= 2{,}14 \cdot 0{,}37 = 0{,}79 \text{ „} \\
P_{19} \cdot \eta_{19} &= 2{,}38 \cdot 0{,}33 = 0{,}78 \text{ „} \\
P_{20} \cdot \eta_{20} &= 2{,}65 \cdot 0{,}29 = 0{,}77 \text{ „} \\
P_{21} \cdot \eta_{21} &= 3{,}00 \cdot 0{,}25 = 0{,}75 \text{ „} \\
P_{22} \cdot \eta_{22} &= 3{,}39 \cdot 0{,}21 = 0{,}71 \text{ „} \\
P_{23} \cdot \eta_{23} &= 3{,}85 \cdot 0{,}17 = 0{,}64 \text{ „} \\
P_{24} \cdot \eta_{24} &= 4{,}40 \cdot 0{,}13 = 0{,}57 \text{ „} \\
P_{25} \cdot \eta_{25} &= 5{,}10 \cdot 0{,}09 = 0{,}46 \text{ „} \\
P_{26} \cdot \eta_{26} &= 5{,}85 \cdot 0{,}06 = 0{,}35 \text{ „} \\
P_{27} \cdot \eta_{27} &= 6{,}80 \cdot 0{,}03 = 0{,}20 \text{ „} \\
P_{28} \cdot \eta_{28} &= 4{,}12 \cdot 0{,}00 = 0 \quad \text{ „} \\
\hline
\Sigma_1^{28} P \cdot \eta &= 49{,}40 \text{ cbm}
\end{aligned}
$$

Der Auflagerdruck für Eigengewicht ist danach:

$$
\begin{aligned}
V &= 49{,}40 \cdot 2{,}3 \\
&= 113{,}6^{\text{t}}.
\end{aligned}
$$

Der gesamte Auflagerdruck für einseitige Belastung ergibt sich durch Addition der Gleichungen 40 und 41 zu:

$$
\begin{aligned}
V &= \Sigma_1^{28} P \cdot \eta + F_\eta \cdot q \\
V &= 113{,}6 + \frac{1 + 0{,}5}{2} \cdot 13{,}25 \cdot 1{,}7 \\
V &= 130{,}5^{\text{t}}.
\end{aligned}
$$

c) Rechnung der Querkräfte in den einzelnen Fugen mit Beispiel.

Nach der allgemeinen Theorie der Querkräfte unter Benutzung der Einflufslinien ist die Querkraft für eine bestimme Fuge im Abstande x von A bei Berücksichtigung der auf das Gewölbe wirkenden Einzellasten (Abb. 23):

$$V_x = P_3 \cdot \eta_3 + P_4 \cdot \eta_4 + P_5 \cdot \eta_5 - (P_1 \cdot \delta_1 + P_2 \cdot \delta_2).$$

Oder die Gleichung allgemein ausgedrückt:

$$V_x = \Sigma_x^l P \cdot \eta - \Sigma_0^x P \cdot \delta. \qquad 42)$$

Und für die gleichmäfsig verteilte Belastung (Abb. 23):

$$V_x = (F\eta - F_\delta) \cdot q, \qquad 43)$$

wobei $F\eta$ und F_δ die bezüglichen Flächen der Einflufslinie sind.

Als Beispiel soll die gesamte Querkraft aus Eigenlast und einseitiger Belastung für Fuge II (Tafel I) ermittelt werden.

Für diese Fuge ist nach Gleichung 42:

$$V_x = \Sigma_9^{28} P \cdot \eta - \Sigma_1^8 P \cdot \delta$$
$$= (16{,}45 - 3{,}68) \cdot 2{,}3$$
$$= 29{,}4^t \text{ (Eigenlast).}$$

Abb. 23.

Nach Gleichung 43 ist:

$$V_x = (F_\eta - F_\delta) \cdot q.$$

Es wird hier die einseitige Belastung bis zur Brückenmitte angenommen, demnach:

$$V_s = \left(\frac{0{,}74 + 0{,}50}{2} \cdot 6{,}00 - \frac{7{,}25 \cdot 0{,}26}{2}\right) \cdot 1{,}7 = 4{,}7^t.$$

Mithin gesamte Querkraft für die einseitige Belastung:

$$V = 29{,}4 + 4{,}7$$
$$V = 34{,}1^t.$$

Die mittelst Einflufslinien ermittelten Werte für die Horizontalschübe und die Querkräfte stimmen mit denen im fünften Abschnitt durch Rechnung gefundenen ziemlich genau überein.

3. Konstruktion der Einflufslinie für die Biegungsmomente.

Die Beanspruchungen in den einzelnen Fugen lassen sich ferner mit Hülfe der Einflufslinien für die Biegungs-

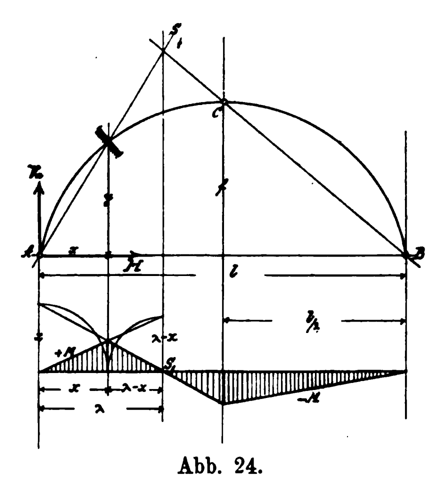


Abb. 24.

momente ermitteln. Die Konstruktion der Einflufslinie für eine bestimmte Fuge ist in Abb. 24 angegeben.

Für den Beweis der Richtigkeit der Momentenflächen kann ein Träger auf zwei Stützen angenommen werden, z. B. für die positive Momentenfläche mit der Spannweite λ und der Last P im Abstande a (Abb. 25).

Dann ist:

$$A \cdot \lambda = P \cdot (\lambda - a).$$

Für $P = 1$:

$$A = \frac{\lambda - a}{\lambda}. \qquad 44)$$

Abb. 25.

Ferner ist:

$$M_x = A \cdot x - P(x - a),$$

und für $P = 1$:

$$M_x = a\frac{\lambda - x}{\lambda}. \qquad 45)$$

Ist nun $a = \lambda$, dann $M_x = \lambda - x$.

Abb. 26 gibt einen Überblick über die Entstehung der Einflufslinie für die Biegungsmomente. Die Konstruktion soll durch folgende Rechnung eingehend betrachtet werden.

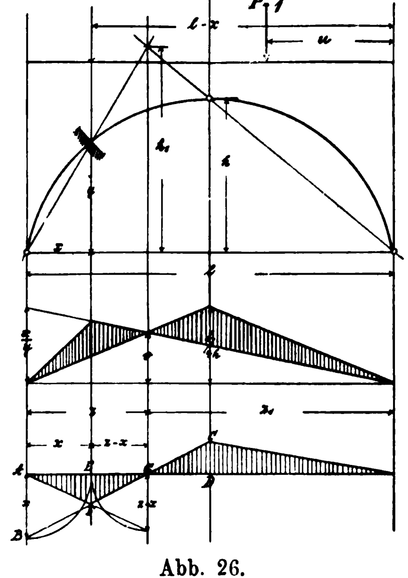


Abb. 26.

Nach Abb. 26 ist:

$$z + z_1 = l$$

$$z_1 : \frac{l}{2} = h_1 : h$$

$$z_1 = h_1 \frac{l}{2 \cdot h}$$

$$y : h_1 = x : z$$

$$z = h_1 \cdot \frac{x}{y}$$

$$h_1 = z \cdot \frac{y}{x}$$

$$z_1 = z \cdot \frac{l}{2h} \cdot \frac{y}{x}$$

$$z = l - z_1$$

$$z = l - \frac{z \cdot l \cdot y}{2hx}$$

$$z + \frac{z \cdot ly}{2 \cdot h \cdot x} = l$$

$$z\left(1 + \frac{l \cdot y}{2 \cdot h \cdot x}\right) = l$$

$$z = \frac{2 \cdot h \cdot x \cdot l}{2 \cdot h \cdot x + l \cdot y}. \qquad 46)$$

$$z_1 = l - z$$

$$z_1 = l - \frac{2 \cdot h \cdot x \cdot l}{2hx + ly}$$

$$z_1 = \frac{2hlx + l^2y - 2hxl}{2hx + ly}$$

$$z_1 = \frac{l^2y}{2hx + ly}. \qquad 47)$$

$$h_1 = \frac{z_1 \cdot 2 \cdot h}{l}.$$

Wird in diese Gleichung der Wert von z_1 eingesetzt, so ist:

$$h_1 = \frac{2lhy}{2hx + ly}. \qquad 48)$$

$$z_1 - \frac{l}{2} = \frac{l^2y}{2hx + ly} - \frac{l}{2}$$

$$z_1 - \frac{l}{2} = \frac{2l^2y - 2hlx - l^2y}{2(2hx + ly)}$$

$$z_1 - \frac{l}{2} = -\frac{l(2hx - ly)}{2(2hx + ly)}. \qquad 49)$$

$$z - x = \frac{2hlx}{2hx + ly} - x$$

$$z - x = \frac{2hlx - 2hx^2 - lxy}{2hx + ly}$$

$$z - x = x \cdot \frac{2h(l - x) - ly}{2hx + ly}. \qquad 50)$$

Es ist:

$$A \cdot l - P \cdot u = 0.$$

Für $P = 1$ ist der Auflagerdruck:

$$A = \frac{u}{l}. \qquad 51)$$

Die Summe der Momente $= 0$.

Für die Ermittelung des Horizontalschubes ist mithin:

$$A\frac{l}{2} - H \cdot h = 0,$$

oder:

$$H = \frac{A \cdot l}{2h} = \frac{u}{2h}. \qquad 52)$$

Das Moment für die in Abb. 26 gezeichnete Fuge ist:

$$M_x = A \cdot x - H \cdot y. \qquad 53)$$

Die Werte von A und H eingesetzt geben:

$$M_x = \frac{u}{l} \cdot x - \frac{u}{2h} \cdot y.$$

Ist $u = \frac{l}{2}$, so ergibt sich das Moment in der Mitte des Gewölbes zu:

$$M_x = \frac{x}{2} - \frac{l \cdot y}{4h},$$

oder:

$$M_x = \frac{2hx - ly}{4h}. \qquad 54)$$

Für $u = l - x$ ist:

$$H = \frac{x}{2h} \text{ und } A = \frac{l - x}{l}$$

mithin:

$$M_x = \frac{x(l-x)}{l} - \frac{xy}{2h}$$

$$M_x = \frac{2hx(l-x) - lxy}{2hl}$$

$$M_x = x \cdot \frac{2h(l-x) - ly}{2hl}. \qquad 55)$$

Die Konstruktion der Einflufslinie ist aus Abb. 26 deutlich zu ersehen; es erübrigt sich daher eine Beschreibung derselben. Genau zu beachten ist jedoch der Mafsstab, in welchem die Auftragung der einzelnen Werte erfolgt, damit nachher in der Ablesung keine Fehler entstehen.

4. Beweis für die Richtigkeit der Konstruktion.

Vor: $AB = x$

BGC eine Gerade.

Beh.: $CD = M_x = \frac{2hx - ly}{4h} \left(\text{für } u = \frac{l}{2}\right)$

$EF = M_x = x \cdot \frac{2h(l-x) - ly}{2hl}$ (für $u = l - x$).

Beweis: $\Delta CDG \backsim \Delta BAG$

$$CD : AB = GD : AG$$

$$CD = \frac{AB \cdot GD}{AG}$$

$$CD = \frac{\left(z_1 - \frac{l}{2}\right) \cdot x}{z}.$$

Werden in diese Gleichung nun die Werte für $\left(z_1 - \frac{l}{2}\right)$ und für z eingesetzt (siehe Gleichung 46 und 49), so ist:

$$CD = -\frac{l(2hx - ly)x}{2(2hx + ly)} \cdot \frac{(2hx + ly)}{2hlx}$$

$$CD = -\frac{2hx - ly}{4h} = -M_x \left(\text{für } u = \frac{l}{2}\right). \quad 56)$$

(Übereinstimmend mit Gleichung 54.)

$$\Delta GEF \backsim \Delta GAB$$

$$EF : AB = GE : GA$$

$$EF = \frac{AB \cdot GE}{GA}$$

$$EF = \frac{x(z - x)}{z}.$$

Werden in diese Gleichung die Werte für $(z - x)$ und z eingesetzt (siehe Gleichung 46 und 50), so ist:

$$EF = x\frac{x[2h(l - x) - ly]}{2hx + ly} \cdot \frac{2hx + ly}{2hlx}$$

$$EF = x\frac{2h(l - x) - ly}{2hl} = + M_x \text{ für } u = (l - x). \quad 57)$$

(Übereinstimmend mit Gleichung 55.)

Es soll ferner nachgewiesen werden, dafs

$$GS = z - x \text{ ist.}$$

$$GS = z \cdot \frac{EF}{x}$$

$$GS = \frac{2hlx \cdot x[2h(l - x) - ly]}{(2hx + ly)2hlx}$$

$$GS = x\frac{2h(l - x) - ly}{2hx + ly}.$$

Dieses ist aber wieder der Wert von Gleichung 50, also

$$GS = z - x.$$

Siebenter Abschnitt.

Ermittelung der Beanspruchungen in den einzelnen Fugen mit Hülfe der Kernmomente.

1. Aufstellung der allgemeinen Gleichungen.

Wie schon im Anfange des vorigen Abschnittes erwähnt, lassen sich die Beanspruchungen mit Hülfe der Einflufslinien für die Biegungsmomente ermitteln. Für die Ermittelung der ungünstigsten, d. h. der gröfsten bezw. kleinsten Beanspruchungen S_o und S_u einer Fuge werden unter Berücksichtigung der als gleichmäfsig verteilt angenommenen Verkehrslast die Lastscheiden in bezug auf den oberen bezw. unteren Kernpunkt festgelegt. Somit lassen sich für jede Fuge des Gewölbes die beiden ungünstigsten Laststellungen konstruieren, und gleichfalls können die Einflufslinien hierfür zur Ermittelung der Beanspruchungen gezeichnet werden (Abb. 27).

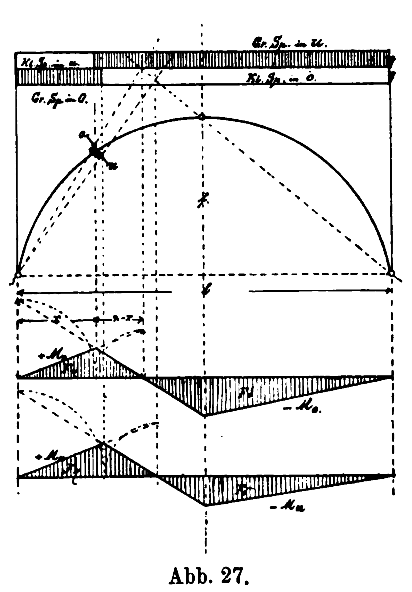


Abb. 27.

$$\text{Spannung} = \frac{\text{Kernmoment}}{\text{Widerstandsmoment}}.$$

Das Moment:

$$M_x = \Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta.$$

Aus der Einflufslinie in bezug auf den oberen Kernrand (siehe die obere Einflufslinie in Abb. 27) ergibt sich die Beanspruchung in u, also:

$$S_u = \frac{M_o}{W} = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W}. \qquad 58)$$

In derselben Weise ist:

$$S_o = \frac{M_u}{W} = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W}. \qquad 59)$$

2. Kernmomente in bezug auf den oberen bezw. unteren Kernrand.

M = Biegungsmoment
W = Widerstandsmoment
S = Beanspruchung

$$S \cdot W = M$$

$$S = \frac{M}{W}.$$

Da nun

$$M = \Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta,$$

so ist:

$$S = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W} \quad \text{(Eigengewicht)}.$$

Bei der Ermittelung der Beanspruchungen für Eigengewicht wird bei S_u das Moment stets negativ, bei S_o das Moment immer positiv sein.

Unter Berücksichtigung der Verkehrslast ist aus Abb. 28 bis 31 zu ersehen, daſs die Beanspruchungen in u, also S_u^l bezw. S_u^r mittelst der Kernmomente in bezug auf den oberen Kernrand ermittelt werden und analog die Beanspruchungen in o, also S_o^l bezw. S_o^r mittelst der Kernmomente in bezug auf den unteren Kernrand.

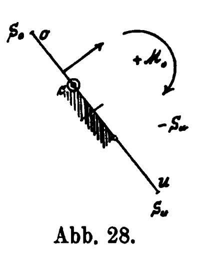


Abb. 28.

Folgende vier Fälle können demnach unterschieden werden:

1. Zugspannungen in u, also $-S_u^l$, positives Kernmoment $+M_o$ (Abb. 28).
2. Druckspannungen in u, also $+S_u^r$, negatives Kernmoment $-M_o$ (Abb. 29).
3. Druckspannungen in o, also $+S_o^l$, positives Kernmoment $+M_u$ (Abb. 30).
4. Zugspannungen in o, also $-S_o^r$, negatives Kernmoment $-M_u$ (Abb. 31).

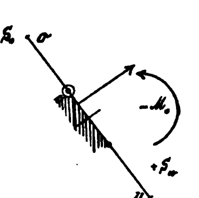


Abb. 29.

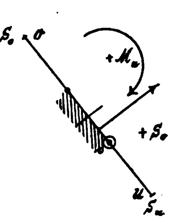


Abb. 30.

Die so ermittelten Werte für S_u und S_o werden zu der Beanspruchung aus dem Eigengewicht algebraisch addiert. Somit ergeben sich für die betreffende ungünstigste Laststellung die entsprechenden Werte für S_{max} und S_{min}.

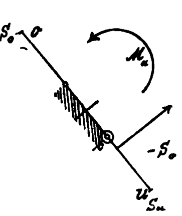


Abb. 31.

3. Maximal- und Minimalbeanspruchungen in u.

S_u^l = Beanspruchung für die Belastungsstrecke links der Lastscheide.

S_u^r = Beanspruchung für die Belastungsstrecke rechts der Lastscheide.

S_u^e = Beanspruchung für Eigengewicht.

Das Eigengewicht wird immer Druckbeanspruchungen $+S_u^e$ ergeben, da das Moment negativ ist. Aus der Belastungsstrecke links der Lastscheide entstehen negative Beanspruchungen in u, aus derjenigen rechts der Lastscheide positive Beanspruchungen in u.

$$S_{u\,max} = S_u^e + S_u^r$$

$$S_{u\,max} = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W} + \frac{F_\delta \cdot q}{W} \tag{60)}$$

$$S_{u\,min} = S_u^e + (-S_u^l)$$

$$S_{u\,min} = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W} - \frac{F_\eta \cdot q}{W}. \tag{61)}$$

4. Maximal- und Minimalbeanspruchungen in o.

Es handelt sich also um die Ermittlung von $S_{o\,max}$ und $S_{o\,min}$ und zwar genau in derselben Weise wie oben.

S_o^e = Beanspruchung für Eigengewicht.

S_o^l = Beanspruchung für die Belastungsstrecke links der Lastscheide.

S_o^r = Beanspruchung für die Belastungsstrecke rechts der Lastscheide.

$$S_{o\,max} = S_o^e + S_o^l$$

$$S_{o\,max} = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W} + \frac{F_\eta \cdot q}{W} \qquad 62)$$

$$S_{o\,min} = S_o^e + (-S_o^r)$$

$$S_{o\,min} = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W} - \frac{F_\delta \cdot q}{W}. \qquad 63)$$

5. Rechnung der Beanspruchungen einer Fuge mittelst der Kernmomente.

Ermittelung der Beanspruchungen in u, also des oberen Kernmomentes. (Eigengewicht.) (Tafel I.)

	$P \cdot \eta$	η	P	δ	$P \cdot \delta$
1.	0	0	4,12 cbm	0	0
2.	1,48	0,22	6,80 „	0,14	0,95
3.	2,91	0,51	5,85 „	0,28	1,74
4.	3,87	0,78	5,10 „	0,45	2,49
5.	4,62	1,08	4,40 „	0,62	2,73
6.	5,14	1,36	3,85 „	0,75	2,89
7.	5,52	1,65	3,39 „	0,92	3,14
8.	5,80	1,97	3,00 „	1,08	3,26
9.	4,52	1,72	2,65 „	1,24	3,30
10.	2,42	1,02	2,38 „	1,40	3,34
11.	0,68	0,32	2,14 „	1,59	3,38
12.			1,95 „	1,72	3,42
13.			1,85 „	1,90	3,52
14.			1,75 „	2,04	3,58
15.			1,75 „	1,77	3,14
16.			1,85 „	1,08	2,10
17.			1,95 „	0,41	0,81
	= +36,96				= — 43,79

Nach Gleichung 58 ist:

$$S_u^e = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W} = \frac{M_o}{W}$$

$$M_o = + 36{,}96 - 43{,}79$$
$$M_o = - \quad 6{,}83 \cdot 2{,}3$$
$$M_o = - 15{,}7^{mt}$$

$$h = 1{,}0^m \quad W = \frac{d \cdot h^2}{6} = \frac{1}{6}$$

$$S_u^e = \frac{M_o}{W} = \frac{15{,}7 \cdot 6}{10} = + 9{,}4^{atm}.$$

Durch Addition der Beanspruchungen aus der ungünstigsten Laststellung ergibt sich $S_{u\,max}$ und $S_{u\,min}$.

$+ F\eta \cdot q$ gibt Zugspannungen in u (Abb. 28).

$- F_\delta \cdot q$ gibt Druckspannungen in u (Abb. 29).

$$+ M_o = + F\eta \cdot q = \frac{10{,}2 \cdot 2{,}01}{2} \cdot 1{,}7 = + 17{,}4^{mt}$$

$$- M_o = - F_\delta \cdot q = \frac{16{,}3 \cdot 2{,}10}{2} \cdot 1{,}7 = - 29{,}0^{mt}.$$

Negative Beanspruchung in u:

$$S_u^l = \frac{+ M_o}{W} = \frac{17{,}4 \cdot 6}{10} = - 10{,}4^{atm}.$$

Positive Beanspruchung in u:

$$S_u^r = \frac{- M_o}{W} = \frac{29{,}0 \cdot 6}{10} = + 17{,}4^{atm}.$$

Mithin Gesamtbeanspruchungen:

$S_{u\,max} = + 9{,}4 + 17{,}4 = + 26{,}8^{atm}$ (nach Gleichung 60)

$S_{u\,min} = + 9{,}4 - 10{,}4 = - 1{,}00^{atm}$ (nach Gleichung 61).

Bei der Ermittelung der Beanspruchungen durch Einflufslinien unter Berücksichtigung der ungünstigsten

Laststellung für eine bestimmte Fuge ergeben sich gröfsere Werte als bei der rechnerischen und graphischen Untersuchung mit der Annahme der einseitigen Belastung bis zur Mitte des Gewölbes. Die geringe auftretende Zugbeanspruchung ist zulässig.

Ermittelung der Beanspruchungen in o, also des unteren Kernmomentes. (Eigengewicht.) (Tafel I.)

$$M_u = \Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta.$$

	$P \cdot \eta$	η	P	δ	$P \cdot \delta$
1.	0	0	4,12 cbm	0	0
2.	1,49	0,22	6,80 „	0,10	0,68
3.	3,16	0,54	5,85 „	0,22	1,28
4.	4,33	0,85	5,10 „	0,36	1,84
5.	5,10	1,16	4,40 „	0,48	2,11
6.	5,66	1,47	3,85 „	0,62	2,38
7.	6,04	1,78	3,39 „	0,75	2,54
8.	6,34	2,11	3,00 „	0,87	2,61
9.	5,35	2,02	2,65 „	1,02	2,72
10.	3,14	1,32	2,38 „	1,13	2,69
11.	1,39	0,65	2,14 „	1,25	2,68
12.			1,95 „	1,38	2,69
13.			1,85 „	1,52	2,78
14.			1,75 „	1,63	2,85
15.			1,75 „	1,33	2,33
16.			1,85 „	0,68	1,24
17.			1,95 „	0,04	0,08
= + 42,00					= — 33,50

Nach Gleichung 59 ist:

$$S_o^e = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W} = \frac{M_u}{W}$$

$$M_u = +42{,}00 - 33{,}50$$
$$M_u = +8{,}5 \cdot 2{,}3$$
$$M_u = +19{,}55^{\,mt}$$

$$h = 1{,}0^{\,m} \quad W = \frac{d h^2}{6} = \frac{1}{6}$$

$$S_o^e = \frac{M_u}{W} = \frac{19{,}55 \cdot 6}{10} = +11{,}8^{\,atm}.$$

Durch Addition der Spannungen aus der ungünstigsten Laststellung ergibt sich $S_{o_{max}}$ und $S_{o_{min}}$.

$+F_\eta \cdot q$ gibt Druckspannungen in o (Abb. 30).

$-F_\delta \cdot q$ gibt Zugspannungen in o (Abb. 31).

$$+M_u = +F_\eta \cdot q = \frac{10{,}90 \cdot 2{,}35}{2} \cdot 1{,}7 = +21{,}8^{\,mt}$$

$$-M_u = -F_\delta \cdot q = \frac{15{,}60 \cdot 1{,}65}{2} \cdot 1{,}7 = -21{,}9^{\,mt}.$$

Positive Beanspruchung in o:

$$S_o^l = \frac{+M_u}{W} = \frac{21{,}8 \cdot 6}{10} = +13{,}1^{\,atm}.$$

Negative Beanspruchung in o:

$$S_o^r = \frac{-M_u}{W} = \frac{21{,}9 \cdot 6}{10} = -13{,}1^{\,atm}.$$

$S_{o_{max}} = +11{,}8 + 13{,}1 = +24{,}9^{\,atm}$ (nach Gleichung 62)

$S_{o_{min}} = +11{,}8 - 13{,}1 = -1{,}3^{\,atm}$ (nach Gleichung 63).

Achter Abschnitt.

Statische Untersuchung der Mittelpfeiler.

1. Die wirkenden Kräfte.

Die Untersuchung wird für den ungünstigsten Fall durchgeführt. Das eine Gewölbe wird als belastet angenommen durch die gleichmäfsig verteilte Verkehrslast, während das andere Gewölbe unbelastet wirkt (Abb. 32).

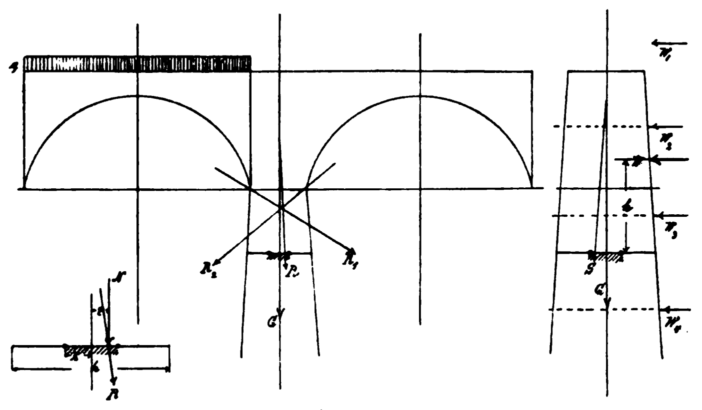


Abb. 32.

Für eine zu untersuchende Fuge des Pfeilers ergeben sich dann die Resultierenden R_1 und R_2 als Kämpferdrücke der beiden an den Pfeiler angrenzenden Gewölbehälften. Durch Zusammensetzung dieser beiden Kräfte mit dem Eigengewicht G des Mittelpfeilers bis zur be-

treffenden Fuge wird die Gesamtresultierende R der Fuge gefunden (Abb. 32).

Aufserdem ist noch der Winddruck zu berücksichtigen. Dieser ist mit $150\,^{kg}/_{qm}$ angenommen. Fernerhin soll der Winddruck für einen Eisenbahnzug gleich einem $3{,}0\,^{m}$ hohen Verkehrsbande eingesetzt werden (s. W_1 in Abb. 32).

Der Abstand des Gesamtwinddruckes W von der zu untersuchenden Fuge ergibt sich aus:

$$W \cdot h = W_1 \cdot h_1' + W_2 \cdot h_2' + \ldots$$

$$W \cdot h = \Sigma W \cdot h'$$

$$h = \frac{\Sigma W \cdot h'}{W}. \qquad 64)$$

Abb. 33 zeigt die Zusammensetzung der einzelnen Kräfte, welche auf den Pfeiler wirken. Diese sind der Winddruck W, die Mittelkraft H der Horizontalschübe und G als Eigengewicht des Pfeilers bis zur betreffenden Fuge und der Gewichte der angrenzenden Gewölbehälften.

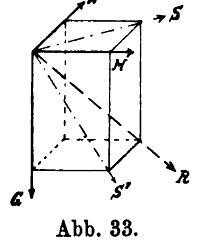


Abb. 33.

W und H zusammengesetzt geben die Mittelkraft S. Durch Zusammensetzung dieser Mittelkraft S mit G wird die endgültige Mittelkraft sämtlicher auf den Pfeiler wirkenden Einzelkräfte gefunden, und somit auch der Druckmittelpunkt für die Fuge.

Für die Ermittelung der gröfsten bezw. kleinsten Beanspruchungen in einer Fuge des Pfeilers werden auch hier ähnlich wie bei den Gewölbefugen die verschiedenen Laststellungen ermittelt. Um die ungünstigsten Laststellungen für eine Pfeilerfuge zu erhalten, wird jeder Kernpunkt mit den Kämpfergelenkpunkten der beiden Ge-

wölbe verbunden, welche dann mit den entsprechenden Kämpferdrucklinien die Lastscheiden bilden.

Auf den Pfeiler wirkt ferner noch eine Strecke Verkehrslast direkt. Um ganz korrekt vorzugehen, müſste für jede Fuge die entsprechende Laststellung ermittelt werden. Da jedoch der Unterschied nicht groſs ist, soll hiervon abgesehen werden und die Durchführung für drei Fugen mit nur einer Laststellung erfolgen (Tafel II).

Für die Untersuchung auf erwähnter Tafel ist die Laststellung für Fuge 1 zugrunde gelegt. Ferner ist dort aus der Darstellung der Kraftecke mit den zugehörigen Seilecken die Ermittelung der Resultierenden aus Eigengewicht, Kämpferdruck und Wind ersichtlich (Abb. 33). Die Kämpferdrücke $K_{\frac{m}{n}}$ und K_3 aus der Betriebslast, welche in Tafel II graphisch zusammengesetzt sind, lassen sich auch mit Hülfe der Einfluſslinien ermitteln. (Vergl. Tafel I.)

Ermittelung des Kämpferdruckes von p und s.

Hieraus ergibt sich der Horizontalschub:

$$H_1 = F \cdot q \cdot T, \qquad 65)$$

wobei:

F = Fläche der Einfluſslinie für den Horizontalschub
q = Belastungshöhe = 0,74 m
T = Breite der Brücke = 4,5 m.

$$H_1 = F \cdot 0{,}74 \cdot 4{,}5$$

$$H_1 = \left(\frac{13{,}25 \cdot 1{,}16}{2} + \frac{(1{,}16 + 0{,}24) \cdot 10{,}8}{2}\right) \cdot 0{,}74 \cdot 4{,}5$$

$$H_1 = 50{,}5^{\text{cbm}}.$$

Der Auflagerdruck:

$$A_1 = F \cdot q \cdot T \qquad 66)$$

F = Fläche der Einfluſslinie für die Querkraft, q und T wie vor.

$$A_1 = \left(\frac{1,0 + 0,07}{2} \cdot (13,25 + 10,8)\right) \cdot 0,74 \cdot 4,5$$

$$A_1 = 43^{\text{cbm}}.$$

Diese beiden Kräfte zusammengesetzt geben den Kämpferdruck K_1 (s. Tafel II).

In derselben Weise wird K_2 ermittelt.

$$H_2 = F \cdot q \cdot T \qquad 65\text{a})$$

$$H_2 = \frac{4,1 \cdot 0,45}{2} \cdot 0,74 \cdot 4,5$$

$$H_2 = 3,05^{\text{cbm}}$$

und:

$$A_2 = F \cdot q \cdot T \qquad 66\text{a})$$

$$A_2 = \frac{1,0 + 0,8}{2} \cdot 4,1 \cdot 0,74 \cdot 4,5$$

$$A_2 = 12,25^{\text{cbm}}.$$

Diese beiden Kräfte zusammengesetzt geben den Kämpferdruck K_2 (s. Tafel II).

Nach Ermittelung der einzelnen Kämpferdrücke erfolgt die Massenberechnung der Eigengewichte des Pfeilers und des Fundamentes.

2. Rechnung der Beanspruchungen in den Fugen.

Für Fuge I und II soll $\sigma \lesseqgtr 18 \,{}^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2}$,

für Fuge III soll $\sigma \lesseqgtr 5 \,{}^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2}$. (Tafel II.)

Wie schon im vierten Abschnitt erwähnt, ist zur Auffindung der Nullachse die Auftragung von $i = \sqrt{\frac{J}{F}}$ erforderlich (Gleichung 13).

Werden nun für die X- und Y-Achse die Nullinien I und II in zwei aneinanderstofsenden Seiten des Quer-

schnittes angenommen, so können mittelst erwähnter Konstruktion für die Ermittelung des Kernes (Winkel an der Spitze $= R$) die entsprechenden Kernpunkte gefunden werden.

(Abb. 34.)

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}} \qquad 67)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}}. \qquad 68)$$

Abb. 34.

Es ist ferner nach Gleichung 4 bezw. 5:

$$W_{y_{max}} = F \cdot k \qquad 69)$$

$$W_{x_{max}} = F \cdot k_1. \qquad 70)$$

Diese Konstruktion des Kernes für einen Querschnitt ist wie bekannt bei allen Figuren ähnlich, wenn noch als Regel betrachtet wird, dafs zu jeder Seite eines Querschnittes ein Kernpunkt, und zu jeder Kante eine Seite des Kernes gehört. Liegt der Druckmittelpunkt wie bei den Pfeilerquerschnitten aufserhalb der X- oder Y-Achse, so ergibt sich folgende Ermittelung (Abb. 35):

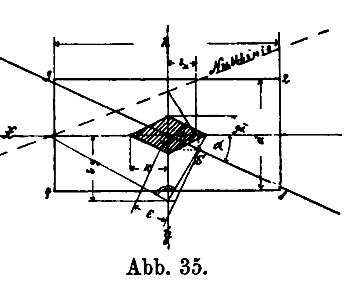


Abb. 35.

$$M_s = N \cdot \varepsilon \qquad 71)$$

und somit:

$$M_x = M_s \cdot \cos \alpha \qquad 72)$$

$$M_y = M_s \cdot \sin \alpha. \qquad 73)$$

Die Beanspruchungen in Punkt 1, 2, 3 und 4 sind:

$$\sigma_1 = + \frac{M_x}{W_y} + \frac{M_y}{W_x} + \frac{N}{F} \tag{74}$$

$$\sigma_2 = + \frac{M_x}{W_y} - \frac{M_y}{W_x} + \frac{N}{F} \tag{75}$$

$$\sigma_3 = - \frac{M_x}{W_y} - \frac{M_y}{W_x} + \frac{N}{F} \tag{76}$$

$$\sigma_4 = - \frac{M_x}{W_y} + \frac{M_y}{W_x} + \frac{N}{F}, \tag{77}$$

wobei

$$W_y = \frac{J_y}{e} = \frac{d h^2}{2} = F \cdot \frac{h}{6}$$

$$W_x = \frac{J_x}{e_1} = \frac{h d^2}{6} = F \cdot \frac{d}{6}.$$

Aus diesem ist ersichtlich, dafs in 1 die gröfste und in 3 die kleinste Druckbeanspruchung auftritt. Die Ermittelung der Beanspruchungen in Fuge 1 ist auf Tafel II dargestellt.

Fuge 1:

$$N = 768^{\text{cbm}} \cdot 2{,}3 = 1766^{\text{t}}$$

$$F = 5{,}0 \cdot 3{,}8 = 19^{\text{qm}}.$$

Dann ist:

$$S_1 = \frac{N}{F} = \frac{1766000}{190000} = 9{,}4^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2}.$$

Wird dieser Wert in der Mitte der Linie, welche senkrecht zur Nullachse steht, aufgetragen und der so gefundene Punkt mit dem der Nullinie verbunden, so ergibt sich die Spannungsverteilung des Querschnittes. Oft lassen sich die beiden Punkte der Nullinie nicht mehr auf das Zeichenblatt bringen, oder wenigstens einer derselben nicht.

In dem Falle wird folgende Konstruktion mittelst der Trägheitsellipse angewendet (Abb. 36 und Fuge II und III auf Tafel II).

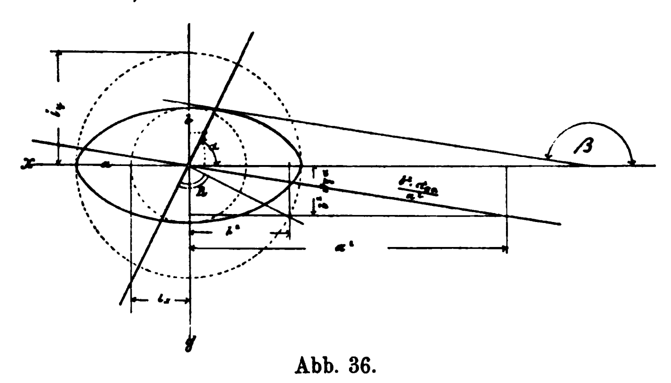


Abb. 36.

In bezug auf die Hauptachsen ergibt sich für die Ellipse die Mittelpunktsgleichung, wenn mit a und b die beiden Halbachsen bezeichnet werden, zu:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1. \qquad 78)$$

Daraus ist:

$$\operatorname{tg} \beta = -\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \cdot \frac{b^2}{a^2} \text{ (Abb. 36).} \qquad 79)$$

Hieraus folgt die Konstruktion, mit welcher Fuge 2 untersucht wird. Die Darstellung der Spannungen ist aus Tafel II ersichtlich.

Fuge 2:

$$J_x = \frac{h \cdot d^3}{12} + 2\,\frac{r^4 \pi}{8} = 39 + 21 = 60^{m^4}$$

$$J_y = \frac{d \cdot h^3}{12} + 2\,J_2,$$

wobei J_2 das Trägheitsmoment eines Halbkreises ist, bezogen die auf Y-Achse.

J_s = Trägheitsmoment des Halbkreises in bezug auf den Schwerpunkt.

F = Fläche des Halbkreises.

$$J_s = J_1 - F \cdot e_1^2$$
$$J_s = J_2 - F \cdot e_2^2$$
$$J_2 = J_1 + F \cdot e_2^2 - F \cdot e_1^2 = J_1 + F(e_2^2 - e_1^2),$$

wobei:

$$e_1 = 0{,}95^{\text{m}}$$
$$e_1^2 = 0{,}90^{\text{m}^2}$$
$$e_2 = 3{,}45^{\text{m}}$$
$$e_2^2 = 11{,}9^{\text{m}^2}.$$

$$J_1 = \frac{r^4 \pi}{8} = 10{,}1^{\text{m}^4}$$

$$F = \frac{r^2 \pi}{2} = \frac{2{,}25^2 \cdot 3{,}14}{2}$$

$$F = 7{,}9^{\text{m}^2}$$

$$J_2 = 10{,}1 + 7{,}9\,(11{,}9 - 0{,}9) = 97{,}0^{\text{m}^4}.$$

Es ist demnach:

$$J_y = \frac{d \cdot h^3}{12} + 2\,J_2$$

$$J_y = 47 + 2 \cdot 97{,}6 = 240^{\text{m}^4}.$$

Der Flächeninhalt des ganzen Querschnittes:

$$F_1 = b \cdot h + r^2 \pi$$
$$F_1 = 5{,}0 \cdot 4{,}5 + 2{,}25^2 \cdot 3{,}14$$
$$F_1 = 38{,}4^{\text{m}^4}.$$

Dann ist:

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F_1}} = \sqrt{\frac{60}{38{,}4}} = 1{,}25^{\text{m}}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F_1}} = \sqrt{\frac{240}{38{,}4}} = 2{,}50^{\,\text{m}}.$$

Der Kern dieses Querschnittes ist eine Parabel.

Nach Gleichung 4 bezw. 5 ist:

$$k \cdot F = W = \frac{J}{e}$$

$$k_1 = \frac{J_x}{e_x \cdot F_1} = \frac{60}{2{,}25 \cdot 38{,}4} = 0{,}67^{\,\text{m}}$$

$$k_2 = \frac{J_y}{e_y \cdot F_1} = \frac{240}{4{,}75 \cdot 38{,}4} = 1{,}22^{\,\text{m}}.$$

Hiernach läfst sich der Kern des Querschnittes konstruieren nach der Gleichung:

$$y^2 = 2px \tag{80}$$

wobei $y = 0{,}67^{\,\text{m}}$ und $x = 1{,}22^{\,\text{m}}$ ist.

Es ist: $N = 2190^{\,\text{t}}$; $F_1 = 38{,}4^{\,\text{m}^2}$

$$S_1 = \frac{N}{F_1} = \frac{2\,190\,000}{384\,000} = 5{,}7^{\,\text{kg}}/_{\text{cm}^2}.$$

Die Auftragung erfolgt wie bei Fuge I (Tafel II).

Fuge 3:

Der Querschnitt dieser Fuge ist wiederum ein Rechteck also:

$$S_1 = \frac{N}{F}$$

wobei $N = 2800^{\,\text{t}}$; $F = 8{,}0 \cdot 11{,}0 = 88^{\,\text{m}^2}$,

mithin: $$S_1 = \frac{2\,800\,000}{880\,000} = 3{,}2^{\,\text{kg}}/_{\text{cm}^2}.$$

Wird dieser Wert in der Mitte der Linie senkrecht zur Nullachse aufgetragen und der so erhaltene Punkt mit dem der Nullinie verbunden, so ergibt sich die Verteilung der Spannungen des Querschnittes wie in Fuge 1. Die Nullachse ist wie bei Fuge 2 mittelst der Trägheitsellipse gefunden.

Neunter Abschnitt.

Statische Untersuchung der Widerlager.

1. Die wirkenden Kräfte.

Für die Widerlager wird ebenso wie bei den Pfeilern zunächst ein Querschnitt angenommen und, wenn dieser nicht ausreicht, so lange geändert, bis die Beanspruchungen nicht mehr überschritten werden. Bei der statischen Untersuchung der Widerlager kommen in Frage:

1. das Eigengewicht des Gewölbes,
2. die ungünstigste Verkehrslast,
3. die Belastungen, welche auf das Widerlager direkt wirken,
4. das Eigengewicht des Widerlagers und der senkrecht wirkenden Erdlasten,
5. der Erddruck.

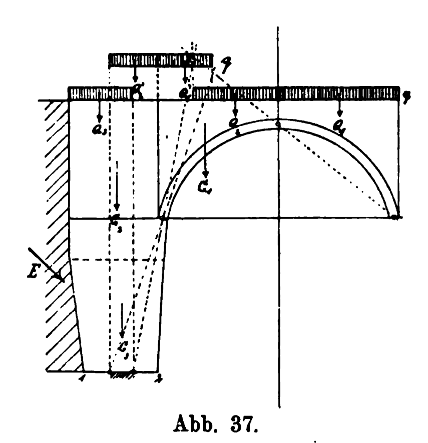


Abb. 37.

Die Belastungen des Gewölbes und Widerlagers für die ungünstigste Kantenpressung in 1 bezw. 2 sind auf Abb. 37 und Tafel III dargestellt. Hier sind für die Mauerwerksfuge, sowie für die Fundamentsohle die ungünstigsten Laststellungen ermittelt und daraus die jeweiligen Beanspruchungen gefunden.

2. Erddruck.

Die Gröfse des Erddruckes ist abhängig:

1. von dem Reibungswinkel φ (Erde auf Erde),
2. von dem Reibungswinkel φ_1 (Erde auf Mauerwerk),
3. von der Kohäsion (allerdings selten),
4. von dem Gewicht der Erde.

Für den Erddruck sind die Grenzen des Reibungswinkels:

$$\varphi = 30^0 \div 45^0.$$

Und zwar werden die Kantenpressungen in 1 gerechnet:

für $\varphi = 45^0$ (ohne Verkehrslast)

Die Kantenpressungen in 2:

für $\varphi = 30^0$ (mit Verkehrslast)

1^{cbm} Erde $= 1800^{kg}$.

Wird $\varphi_1 = \varphi$ gesetzt, und ist die Geländefläche eine Ebene, wodurch sich die Konstruktion der Gleitfläche vereinfacht, so ergibt sich folgende Ermittelung des Erddruckes (Abb. 38 Rebhannscher Satz).

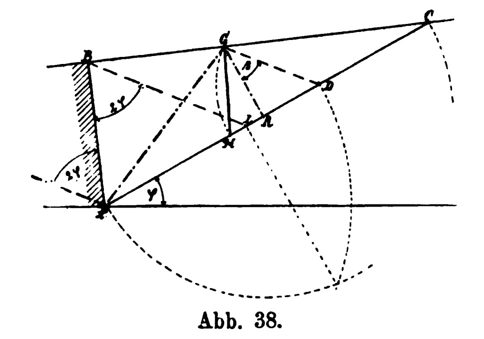


Abb. 38.

Hier ist $GD = DH$

$\Delta DGH =$ Erddruck E in ^{cbm} auf $1{,}0^{\text{m}}$ Tiefe.

$$E : P = DG : AD$$

und da $DG = DH$ ist

$$E : P = DH : DA.$$

Ferner $\Delta DGH : \Delta DGA = DH : DA$

$$\Delta DGA = P$$

und $DH : DA = E : P$, folglich

$$\Delta DGH = E. \qquad 81)$$

Für die Untersuchung des Widerlagers sind zwecks Vereinfachung der Rechnung folgende Annahmen gemacht:

1. Wagerechte Abgleichung,
2. AB ist senkrecht,
3. $\varphi_1 = 0$ (Reibungswinkel von Erde auf Mauerwerk).

Dann ist

$$E = \frac{h^2}{2} tg^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \text{ in }^{\text{cbm}} \text{ für } 1{,}0^{\text{m}} \text{ Tiefe.}$$

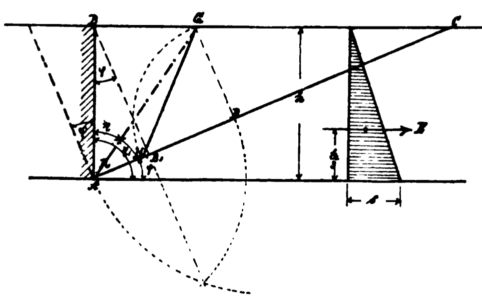


Abb. 39.

Unter diesen Annahmen ist nach Abb. 39:

$$\Delta ABG = \Delta AGD$$

$$\frac{\Delta ABG \cong \Delta AGD}{AD = AB = h}.$$

Ist nun:

$$\eta = \eta_1 \quad \text{und}$$
$$\eta + \eta_1 = 90 - \varphi, \quad \text{so}$$
$$\eta = 45 - \frac{\varphi}{2}.$$

Der Erddruck:

$$E = \Delta\, DGH = \frac{DG \cdot DH}{2} \text{ in }^{\text{cbm}}.$$

Da nun $DG = DH$, ist auch:

$$DG = AD \cdot \text{tg} \cdot \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right).$$

$AD = h$, also:

$$DG = h \cdot \text{tg}\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right),$$

folglich:

$$E = \frac{h^2}{2} \text{tg}^2 \cdot \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \text{ in }^{\text{cbm}} \text{ pro } 1{,}0^{\text{m}} \text{ Tiefe} \qquad 82)$$

oder:

$$E = \gamma \frac{h^2}{2} \text{tg}^2 . \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \text{ in }^{\text{t}} \text{ pro } 1{,}0^{\text{m}} \text{ Tiefe}. \qquad 83)$$

$$\varphi = 20^0, \ E = \frac{h^2}{4}{}^{\text{cbm}}$$
$$\varphi = 30^0, \ E = \frac{h^2}{6} \text{ ,,}$$
$$\varphi = 37^0, \ E = \frac{h^2}{8} \text{ ,,}$$
$$\varphi = 40^0, \ E = \frac{h^2}{10} \text{ ,,}$$
$$\varphi = 45^0, \ E = \frac{h^2}{12} \text{ ,,}$$
$$\varphi = 0 \text{ (Wasser).}$$

Die statische Untersuchung eines Widerlagers wird ähnlich durchgeführt, wie die der Mittelpfeiler. Allerdings ist hier für jede Fuge gesondert die ungünstigste Laststellung ermittelt (Tafel III).

Nach Ermittelung des Kämpferdruckes, welcher sich aus dem Auflagerdruck und dem Horizontalschub zusammensetzt, erfolgt weiter die Zusammensetzung mit dem Eigengewichte des Widerlagers und mit dem entsprechenden Erddruck, und zwar auf zeichnerischem Wege.

3. Rechnung der Erddrücke für Fuge 1 und 2.

Kantenpressung in 1:

$$\varphi = 45^0 \text{ (ohne Verkehrslast).}$$

Kantenpressung in 2:

$$\varphi = 30^0 \text{ (mit Verkehrslast).}$$

$$\operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{45}{2}\right) = \operatorname{tg}^2 22{,}5^0 = 0{,}17$$

$$\operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{30}{2}\right) = \operatorname{tg}^2 30^0 \quad = 0{,}33$$

Fuge 1: $h_{min} = 15{,}45^m$

$h_{max} = 16{,}45^m$.

Für die Kantenpressung in 1:

$$E_{min} = \frac{h^2}{2} \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$E_{min} = \frac{15{,}45^2}{2} \cdot 0{,}17 \text{ in }^{cbm} \text{ pro } 1{,}0^m \text{ Tiefe}$$

$$E_{min} = \frac{15{,}45^2}{2} \cdot 0{,}17 \cdot 4{,}5 \cdot 1{,}8 \text{ in }^t \text{ für die ganze Tiefe}$$

$$E_{min} = 165^t.$$

Für die Kantenpressung in 2:

$$E_{max} = \frac{h^2}{2} \cdot \text{tg}^2 \cdot \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)^{\text{cbm}}$$

$$E_{max} = \frac{16{,}45^2}{2} . 0{,}33 \cdot 4{,}5 \cdot 1{,}8 \text{ in }^{\text{t}} \text{ für die ganze Tiefe}$$

$$E_{max} = 360^{\text{t}}.$$

Fuge 2: $h_{min} = 18{,}45^{\text{m}}$

$h_{max} = 19{,}45^{\text{m}}$.

Für die Kantenpressung in 1:

$$E_{min} = \frac{18{,}45^2}{2} \cdot 0{,}17 \cdot 4{,}5 \cdot 1{,}8 \text{ in }^{\text{t}} \text{ für die ganze Tiefe}$$

$$E_{min} = 235^{\text{t}}.$$

Für die Kantenpressung in 2:

$$E_{max} = \frac{19{,}45^2}{2} \cdot 0{,}33 \cdot 4{,}5 \cdot 1{,}8 \text{ in }^{\text{t}} \text{ für die ganze Tiefe}$$

$$E_{max} = 505^{\text{t}}.$$

Nach der vereinfachten Rechnung des Erddruckes kann der Wert von E als Inhalt eines rechtwinkligen Dreiecks angesehen werden, dessen Höhe $= h$ und dessen Grundlinie $s = h \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$ ist. Der Angriffspunkt des Erddruckes liegt im Schwerpunkte (Abb. 39).

Es ist dann:

$$E = \frac{h \cdot s}{2} = \frac{h^2}{2} \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)^{\text{cbm}}.$$

4. Beanspruchungen der Fugen.

Fuge 1: $F = h \cdot b = 6 \cdot 4{,}5 = 27^{\text{m}^2}$

$N_{min} = 1752^{\text{t}}$

$N_{max} = 1720^{\text{t}}$

$\varepsilon_{min} = 0{,}37^{\text{m}}$.

$\varepsilon_{max} = 0{,}80^{\text{m}}$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{F}\left(1 \pm \frac{6\,\varepsilon}{h}\right)$$

$$\sigma_{min} = \frac{1752}{27 \cdot 10}\left(1 \pm \frac{6 \cdot 0{,}37}{6}\right) = 8{,}9\ ^{kg}/_{cm^2} \quad \text{bezw.} \quad 4{,}1\ ^{kg}/_{cm^2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{1720}{27 \cdot 10}\left(1 \pm \frac{6 \cdot 0{,}80}{6}\right) = 11{,}7 \quad " \quad " \quad 1{,}27 \quad "$$

Fuge 2: $F = b \cdot h = 8{,}0 \cdot 9{,}0 = 72\ ^{m^2}$

$$N_{min} = 2415\ ^{t}$$
$$N_{max} = 2405\ ^{t}$$
$$\varepsilon_{min} = 0{,}83$$
$$\varepsilon_{max} = 0{,}40$$

$$\sigma_{min} = \frac{2415}{72 \cdot 10}\left(1 \pm \frac{6 \cdot 0{,}83}{9}\right) = 5{,}0\ ^{kg}/_{cm^2} \quad \text{bezw.} \quad 1{,}5\ ^{kg}/_{cm^2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{2405}{72 \cdot 10}\left(1 \pm \frac{6 \cdot 0{,}40}{9}\right) = 4{,}2 \quad " \quad " \quad 2{,}45 \quad "$$

Die Darstellung dieser Werte ist aus Tafel III ersichtlich.

Zehnter Abschnitt.

Berechnung der Gelenke.

1. Aufstellung der allgemeinen Gleichungen.

Die grofsen Vorteile für die Einfügung von Gelenken bei Bogenbrücken sind bereits im ersten Abschnitt erwähnt. Durch Ausbildung von Gelenken im Scheitel und an den Kämpfern werden die Störungen im Gewölbe nach allen Richtungen hin, besonders die Bildung von Rissen, beseitigt.

Das Nachgeben des Lehrgerüstes, ein Hauptfaktor für die Störungen im Gewölbebogen, kann zum Teil schon durch Anwendung einer bestimmten Art der Ausführung des Gewölbes unschädlich gemacht werden.

Die Gelenke werden in Eisen, natürlichen Steinen oder künstlichen Steinen ausgeführt.

Bei vorliegendem Bauwerke sollen wegen der grofsen Pressungen Granitgelenke verwendet werden.

Die Gelenkquader werden auf Biegung und rückwirkende Festigkeit stark beansprucht. Eingehende Versuche über Elastizität und Festigkeit des Materials sind von Professor Föppl-München und Baudirektor von Bach-Stuttgart vorgenommen und haben gute Ergebnisse geliefert.

Die Berechnung von zwei aufeinander abrollenden Gelenken bei Stein- und Betonbrücken erfolgt nach Köpcke unter der Annahme, dafs die in der Berührungsfuge auftretende gröfste Zusammendrückung sich auf die Höhe h

des Gelenksteines erstrecke, nur dafs die Pressungsfläche eine ebene Fläche werde.

Erläuterungen:

P = Druck auf das Gelenk in kg.

R = Krümmungshalbmesser der Gelenkfläche in cm.

E = Elastizitätszahl für Granit in kg/cm².

d = Gewölbe- bezw. Gelenkstärke in cm.

h = Höhe der Gelenksteine in cm.

f = Abstand von Mitte Gelenk bis Anfang der Krümmung in cm.

$2s$ = Breite der Eindrückung in cm.

λ = Zusammendrückung in cm.

a = Abstand zwischen den Kanten der beiden Gelenksteine in cm.

Die Zusammendrückung:

$$\lambda = \sqrt[3]{\frac{9}{32} \frac{P^2 \cdot h^2}{R \cdot E^2}}. \qquad 84)$$

Die Aufstellung der Gleichungen erfolgt für Abb. 40. Die gefundenen Werte werden dann für die bei vorliegendem Bauwerke in Anwendung kommende Form der Gelenke, Abb. 41, übertragen.

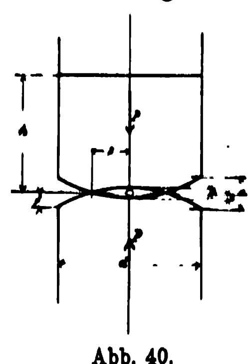


Abb. 40.

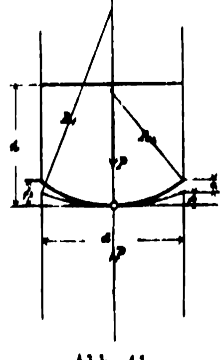


Abb. 41.

Nach Abb. 40 ist:

$$R^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2 = (R-f)^2$$

hieraus:

$$R = \frac{d^2}{8f}. \qquad 85)$$

Dann ist:

$$s^2 = \lambda(2R - \lambda) \qquad 86)$$

$$s = \sqrt{2R\lambda} \text{ (als Näherungswert).} \qquad 87)$$

Hieraus ist:

$$R = \frac{s^2}{2\lambda}. \qquad 87)$$

Nach der Elastizitätsgleichung kann für die größte Beanspruchung in der Berührungsfläche das Verhältnis aufgestellt werden:

$$\sigma : E = \lambda : h = P : F \cdot E.$$

Daraus:

$$\sigma = \frac{\lambda}{h} \cdot E = \frac{P}{F} \qquad 88)$$

und:

$$\lambda = \frac{\sigma \cdot h}{E}. \qquad 89)$$

Mithin ergibt sich:

$$P = \frac{\lambda}{h} \cdot F \cdot E. \qquad 90)$$

Die Druckverteilung ist eine Parabel, demnach:

$$F = \frac{2}{3} \cdot 2s \cdot 1. \qquad 91)$$

Dann ist:

$$P = \frac{\lambda}{h} \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 \cdot s \cdot E. \qquad 92)$$

Hieraus ergibt sich:

$$s = \frac{3}{4} \cdot \frac{P \cdot h}{E \cdot \lambda}. \qquad 93)$$

Durch Einsetzung des Wertes für λ aus Gleichung 89 ist:

$$\sigma = \frac{3}{4} \frac{P}{s}. \tag{94}$$

Den Wert für s aus Gleichung 93 in Gleichung 87 eingesetzt, gibt:

$$\left(\frac{3}{4}\right)^2 \cdot \frac{P^2 h^2}{E^2 \lambda^2} = 2 R \cdot \lambda,$$

oder:

$$\lambda = \sqrt[3]{\frac{9}{32} \cdot \frac{P^2 \cdot h^2}{R \cdot E^2}} \quad \text{(s. Gleichung 84).}$$

Nach Abb. 40 ist $a = 2f$.

2. Berechnung des Gelenkes im Scheitel.

Stärke der Gelenksteine $d = 70^{\text{cm}}$.
Höhe der Gelenksteine $h = 70^{\text{cm}}$.

Die Breite der Zusammendrückung $2s$ wird nach Erfahrungswerten $= \frac{d}{5}$ gesetzt, da sonst der Reibungswiderstand zu grofs wird, und dadurch Momente auftreten.

$$2s = \frac{d}{5} = \frac{70}{5} = 14^{\text{cm}}; \quad s = 7^{\text{cm}}.$$

Der Horizontalschub für volle Belastung:

$H = 118^{\text{t}}$ pro $1{,}0^{\text{m}}$ Tiefe.

Die Kraft für 1^{cm} Tiefe gerechnet gibt:

$$P = 1180^{\text{kg}}.$$

Elastizitätszahl für Granit:

$$E = 250000\ ^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2}.$$

Die Druckfestigkeit der hier zu verwendenden Granitsteine beträgt:

$$D = 1200\ ^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2}.$$

Bei 9facher Sicherheit ist die Druckbeanspruchung:

$$\sigma = \frac{1200}{9} \lesseqgtr 133\ {}^{kg}/_{cm^2}.$$

Nach Abb. 40 und unter Benutzung der entwickelten Gleichungen ist:

$$\sigma = \frac{3}{4}\frac{P}{s} \quad \text{(s. Gl. 94).}$$

$$\sigma = \frac{3}{4} \cdot \frac{1180}{7} = 126\ {}^{kg}/_{cm^2}$$

$$\lambda = \frac{\sigma h}{E} = \frac{126 \cdot 70}{250\,000} = 0{,}035\ {}^{cm}.$$

Dann ist nach Gleichung 87:

$$R = \frac{s^2}{2\lambda} = \frac{7 \cdot 7}{2 \cdot 0{,}035} = 700\ {}^{cm}.$$

Aus Gleichung 85 ergibt sich:

$$f = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2R} = \frac{35^2}{2 \cdot 700} = 0{,}85\ {}^{cm}$$

$$a = 2f = 1{,}70\ {}^{cm}.$$

Nachdem nun a berechnet ist, läfst sich auch die Berechnung für Abb. 41 ermitteln, also für die bei diesem Bauwerke in Anwendung kommenden Gelenke, die eine Gelenkfläche konvex, die andere konkav gekrümmt. Der kleinere Radius wird angenommen und der gröfsere danach ermittelt.

Es sei der kleinere Radius:

$$R_2 = 200\ {}^{cm}.$$

Dann ist:

$$f_2 = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2 \cdot R_2} = \frac{35^2}{2 \cdot 200} = 3{,}06\ {}^{cm}$$

$$a = f_2 - f_1.$$

Da $a = 1{,}7^{\text{cm}}$ ist, folgt:

$$f_1 = (f_2 - a)$$

$$f_1 = (3{,}06 - 1{,}7) = 1{,}36^{\text{cm}}.$$

Dann ist:

$$R_1 = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2 \cdot f_1} = \frac{35^2}{2 \cdot 1{,}36} = 450^{\text{cm}}.$$

3. Berechnung der Gelenke an den Kämpfern.

$$h = d = 80^{\text{cm}} \quad \text{(Abb. 41)}$$

$$2s = \frac{d}{5} = 16^{\text{cm}}$$

$$s = 8^{\text{cm}}.$$

Der gröfste Kämpferdruck, also der für volle Belastung:

$$K = 180^{\text{t}} \text{ für } 1{,}0^{\text{m}} \text{ Tiefe.}$$

Die Kraft für 1^{cm} Tiefe gibt:

$$P = 1800^{\text{kg}}.$$

Die Druckfestigkeit des hier zu verwendenden Granits:

$$D = 1600^{\text{kg}/\text{cm}^2}.$$

Bei 9 facher Sicherheit ist die Druckbeanspruchung:

$$\sigma = \frac{1600}{9} \leqq 178^{\text{kg}/\text{cm}^2}.$$

Es ist wie vor:

$$\sigma = \frac{3}{4} \cdot \frac{P}{s}$$

$$\sigma = \frac{3}{4} \cdot \frac{1800}{8} = 169^{\text{kg}/\text{cm}^2}.$$

Die Zusammendrückung:

$$\lambda = \frac{\sigma \cdot h}{E} = \frac{169 \cdot 80}{250000} = 0{,}054^{\text{cm}}$$

Der Krümmungsradius:

$$R = \frac{s^2}{2\lambda} = \frac{8 \cdot 8}{2 \cdot 0{,}054} = \text{rd } 595^{\text{cm}}$$

$$f = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2R} = \frac{40^2}{2 \cdot 595} = 1{,}34^{\text{cm}}$$

$$a = 2f = 2 \cdot 1{,}34 = 2{,}68^{\text{cm}}.$$

Es wird jetzt wiederum bei Anwendung der gerechneten Werte auf vorliegenden Fall (Abb. 41) der eine Radius angenommen und der andere dann ermittelt.

$$R_2 = 150^{\text{cm}}.$$

Dann ist:

$$f_2 = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2R_2} = \frac{40^2}{2 \cdot 150} = 5{,}66^{\text{cm}}$$

$$a = f_2 - f_1 = 2{,}68^{\text{cm}}.$$

folglich ist:

$$f_1 = (f_2 - a) = (5{,}66 - 2{,}68) = 2{,}98^{\text{cm}}.$$

Somit ergibt sich:

$$R_1 = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2f_1} = \frac{40^2}{2 \cdot 2{,}98} = \text{rd } 265^{\text{cm}}.$$

Elfter Abschnitt.

Das Lehrgerüst.

1. Allgemeines.

Jedes sachgemäfs ausgeführte Lehrgerüst mufs folgende Bestandteile haben:

1. Stützen,
2. Unterzüge,
3. Querträger (Folgen),
4. Schalung,
5. Querverbindungen,
6. Ausrüstungsvorrichtungen.

Diese sechs Hauptteile können alle Bedingungen für ein Lehrgerüst erfüllen. Sie bilden eine Lehre zur Herstellung des Gewölbes, vermitteln die Übertragung der Last des noch nicht geschlossenen Gewölbebogens auf feste Stützpunkte und ermöglichen ein Senken oder Heben während der Ausführung, bezw. die Ausrüstung und Ausschalung des fertigen Gewölbebogens.

Die Entfernung der Lehrbögen beträgt 1 bis 2 ^{m}. Eine gute Querverbindung derselben gegeneinander ist erforderlich.

Die Gewölbelast wird durch die Schalhölzer und Folgen auf die Stützen übertragen und gelangt weiter durch die Unterzüge auf die festen Stützpunkte des Pfahlrostes.

Als Schalung dienen Bretter oder Schalhölzer, welche eine Lehre für die innere Leibung des Gewölbes bilden.

Die Ausrüstungsvorrichtungen bestehen am zweckmäſsigsten aus Schraubenspindeln oder Sandtöpfen in Verbindung mit Doppelkeilen. Hiermit lassen sich alle erforderlichen Bewegungen, wie Anheben, Senken und Ausrüsten der Brückengewölbe ausführen.

Die meisten Lehrgerüste werden nach freitragendem System erbaut, vereinzelt findet auch das schwebende Lehrgerüst Anwendung.

Bei vorliegendem Bauwerk ist ersteres gewählt worden. Für die Schiffahrt muſste eine hinreichend groſse Öffnung freigelassen werden (Abb. 42).

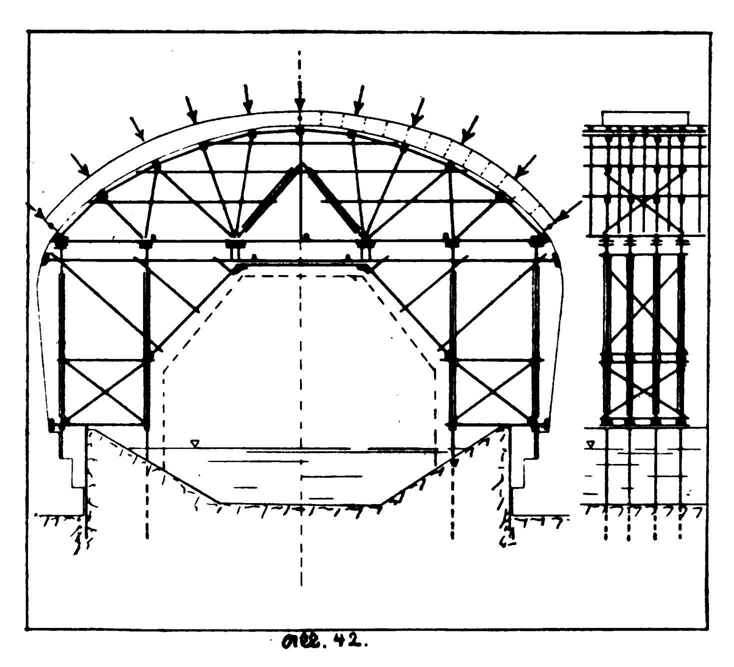


Abb. 42.

2. Berechnung der Druckhöhen.

Die auf das Lehrgerüst wirkenden äufseren Kräfte sind die aus der Gewölbelast herrührenden Drücke und die dadurch in den festen Stützpunkten des Lehrgerüstes hervorgerufenen Stützenwiderstände.

Es handelt sich hier zunächst um die Kenntnis des Druckes, den das Gewölbe an irgend einer Stelle des Kranzes auf das Lehrgerüst ausübt.

Nach Abb. 43 wird die senkrechte Kraft G eines Gewölbesteines zerlegt in die Normale N, senkrecht zu der Verbindungsfuge, und in die Normale Q, senkrecht zur unteren Leibung. Q mufs vom Lehrgerüst aufgenommen werden, während N nur zum Teil darauf wirkt (Abb. 43).

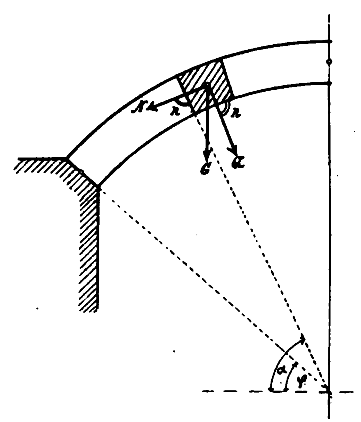


Abb. 43.

$$N = G \cdot \cos \alpha$$
$$Q = G \cdot \sin \alpha .$$

Das Lehrgerüst selbst hat die Kraft R aufzunehmen.

$$R = G \sin \alpha - f \cdot G \cdot \cos \alpha . \qquad 95)$$

Für die Berechnung dieses Druckes kann das Lehrgerüst als starr angesehen und durchweg $f = \operatorname{tg} \varphi'$ eingesetzt werden.

Reibungsziffer von Stein auf Stein:

$$f = \operatorname{tg} \varphi' = 0{,}3 \div 0{,}57 .$$

Ist:

$$\varphi' = 26^0 30', \text{ so}$$
$$f = \operatorname{tg} \varphi' = 0{,}5 .$$

Der senkrechte Druck auf die Flächeneinheit und Schalung für eine Wölbtiefe = 1 ist nach Abb. 44:

$$p = \gamma \cdot d \cdot \sin\alpha \qquad 96)$$

wobei:

$\gamma =$ Gewicht von 1 cbm Gewölbemauerwerk,

$d =$ Gewölbestärke,

$\alpha =$ Winkel, den die Mittellinie des Steines mit der Wagerechten einschliefst.

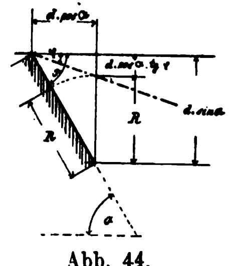


Abb. 44.

Der gröfste Druck wird in der obersten der eingebrachten Schichten auftreten.

Die Druckhöhe R ist der an irgend einer Stelle auf die Flächeneinheit der Schalung normal zur inneren Leibungsfläche wirkende gröfste Druck auf das Lehrgerüst.

Diese Druckhöhe ergibt sich durch Rechnung aus dem Gleichgewichtszustande der obersten Gewölbeschicht:

$$R = (d \sin \cdot \alpha - d \cos\alpha \cdot \operatorname{tg}\varphi') \cdot \gamma$$

$$R = \left(d \sin\alpha - \frac{d \cos\alpha \cdot \sin\alpha \cdot \operatorname{tg}\varphi'}{\sin\alpha}\right) \cdot \gamma$$

$$R = \left(d \sin\alpha (1 - \operatorname{ctg}\alpha \operatorname{tg}\varphi')\right) \gamma. \qquad 97)$$

Der obere Grenzwert der Druckhöhe wird im Scheitel erreicht für $\alpha = 0$, dann ist:

$$R_{max} = \gamma \cdot d. \qquad 98)$$

3. Graphische Ermittelung der Belastungsfläche.

Die untere Leibung wird in beliebig viele gleiche Teile zerlegt und von dem in der äufseren Leibungslinie liegenden Punkt der Fuge eine Parallele zu dem Schenkel des

gewählten Winkels φ' gezogen. Diese schneidet die durch den unteren Leibungspunkt der Fuge gelegte Senkrechte, und es ergibt sich so die Druckhöhe R (Abb. 44). Die ermittelte Druckhöhe wird auf der Fuge abgetragen, und die Verbindung dieser Punkte stellt die Belastungsfläche für das Lehrgerüst dar. Ist $\alpha = \varphi'$ (ermittelter Reibungswinkel von Stein auf Stein), so ist $R = 0$.

4. Spannkräfte der einzelnen Teile und ihre Berechnung.

Die Stützenwiderstände werden, wie schon erwähnt, aus den von der Gewölbelast herrührenden Drücken ermittelt. Sobald die Grenzwerte der Drücke in jedem Knotenpunkte des Kranzes bekannt sind, läfst sich der Binder ähnlich wie ein Brückenträger berechnen.

Genau genommen sind die meisten Bindertragwerke statisch unbestimmt. Ihre Berechnung könnte daher nur durch Feststellung der Formänderungen in den einzelnen Punkten der Tragwerke durchgeführt werden.

Diese grofse Mühe für die Durchführung der Berechnung dürfte jedoch von geringem Nutzen sein. Aufserdem ist es schwierig, bei Holzgerüsten eine genaue Berechnung der Formänderungen durchzuführen, und fernerhin würden die mit Hülfe der Elastizitätstheorie ermittelten Spannkräfte mit den wirklich vorhandenen doch nicht übereinstimmen, wegen der noch recht unsicheren Angaben über die Elastizitätszahlen.

Für ein Lehrgerüst kommt es nicht darauf an, ob die Querschnitte der einzelnen Teile auch genau den theoretisch ermittelten Spannkräften entsprechen. Es soll nur die

Gewölbelast tragen können, und dürfen durch diese Last irgend welche Verschiebungen der einzelnen Holzteile nicht stattfinden. Die Querschnitte dürfen also nicht zu schwach sein, und ist es besser, sie lieber etwas stärker auszuführen als berechnet war.

Die Lehrgerüste werden zweckmäfsig erst konstruiert und nachher, soweit wie es möglich ist, berechnet.

Es würde sich dann also nur noch um eine Nachprüfung handeln, ob die einzelnen Querschnittsabmessungen nicht zu schwach angenommen sind.

Wenn die Knoten des Bindertragwerkes als Gelenkknoten angenommen werden, so lassen sich die einzelnen Querschnittsabmessungen der Schalhölzer und Felgen, sowie Streben und Stützen nach den einfachsten Regeln der Statik und Festigkeitslehre ermitteln.

Das Lehrgerüst, auf Pfählen ruhend, ist mit einer Beanspruchung des Holzes von $80^{kg}/_{cm^2}$ berechnet worden. Das Holz senkrecht zur Längsfaser darf weit weniger beansprucht werden, als dieses in der Richtung der Faser zulässig ist.

Die Stützen des Lehrbogens müssen auf Druck- und Knickfestigkeit untersucht werden.

1. Untersuchung auf Druckfestigkeit.

$$P = F \cdot \sigma, \qquad 99)$$

wobei:

$P =$ Kraft in ^{kg},

$F =$ Querschnitt des Konstruktionsteiles in $^{cm^2}$,

$$\sigma = \begin{cases} 50 \div 75\,^{kg}/_{cm^2} \text{ für Weichholz} \\ 70 \div 110\,^{kg}/_{cm^2} \text{ für Hartholz.} \end{cases}$$

2. Untersuchungen auf Knickfestigkeit.

Nach der Euler'schen Knickformel ist:

$$P \lesseqgtr S \cdot m \frac{J \cdot E}{l^2}, \qquad 100)$$

wobei:

$P =$ Kraft in ^{kg},

$S =$ Sicherheitswert gegen Knicken für Holz $= \frac{1}{10}$,

$m =$ Befestigungsweise der Stabenden $= \pi^2 = 10$, da mit irgend welcher Einspannung des Stabendes selten gerechnet werden kann,

$J =$ kleinstes Trägheitsmoment des Querschnittes in $^{cm^4}$,

$l =$ Knicklänge in ^{cm},

$E =$ Elastizitätsmodul für Holz in $^{kg}/_{cm^2}$.

$$E = \begin{cases} 100\,000\ ^{kg}/_{cm^2} \text{ für Weichholz} \\ 110\,000\ ^{kg}/_{cm^2} \text{ für Hartholz.} \end{cases}$$

Aus Gleichung 100 folgt:

$$J \gtreqless \frac{P \cdot l}{\frac{1}{10} \cdot 10 \cdot E}$$

oder die Knicklänge l in ^{m} und E mit 100000 eingesetzt:

$$J \gtreqless \frac{P \cdot l^2}{10}. \qquad 101)$$

5. Das Lehrgerüst und seine Verbindungen.

Als Stützpunkte für ein festes Lehrgerüst dienen meistens eingerammte Pfähle. Diese können je nach Bedarf in beliebigen Höhen abgeschnitten werden. Die einzelnen Pfahlreihen oder Gruppen werden zu einem Pfahljoch vereinigt und durch Zangen und Streben mit-

einander verbunden, um seitliche Verschiebungen zu verhüten.

Die Entfernung der Lehrbinder beträgt bei vorliegendem Bauwerke 1,33 m von Mitte zu Mitte gemessen.

Vorrichtungen zum Ausrüsten sind, wenn irgend möglich, über dem höchsten Wasserstande anzubringen. Sie werden in die Achsen der Stützpunkte direkt unter den zu senkenden oberen Lehrgerüstteil gestellt, damit in den angrenzenden Hölzern keine Biegungsspannungen entstehen.

Hauptknotenpunkte, d. h. die Stellen, wo mehrere Hölzer aus verschiedenen Richtungen zusammentreffen, sind mit grofser Sorgfalt herzustellen. Es mufs in allen Knotenpunkten eine regelrechte Übertragung der Drücke stattfinden, und jeder Lehrbogen soll in gleicher Weise tragen.

Die Schubfestigkeit des Holzes ist etwa $\frac{1}{10}$ der Druckfestigkeit. Daher sind Zugverbindungen nach Möglichkeit zu vermeiden. Sie lockern sich leicht und die Verbindungsteile werden dann meist auf Abscherung parallel zu den Holzfasern beansprucht.

Die Knotenpunkte werden durch Schraubenbolzen zusammengehalten. Einlegen von dünnen Bleiplatten oder Zinkblechen in die Stofsfugen ist von grofsem Vorteil, da hierdurch eine gleichmäfsigere Druckübertragung stattfindet. Daher ist es auch zweckmäfsig, in etwa offenstehende Fugen Blechstücke einzutreiben, um spätere Senkungen des Gerüstes dadurch zu verhüten.

Für den Holzbedarf eines Lehrgerüstes kann nach Erfahrungswerten schätzungsweise 1 cbm Holz auf 3 cbm Gewölbemasse eingesetzt werden.

Zwölfter Abschnitt.

Ausführung von Betonbogenbrücken mit Granitgelenken.

1. Eigenschaften und Herstellung des Betons.

Dem Stampfbeton, welcher für Brückengewölbe verwendet wird, sollen zweckmäfsig aufser einem Zusatz von Kiessand zu dem Zement auch noch einige Raumteile Steinschlag oder Kiessteine beigemischt werden. Nach den praktischen Erfahrungen erscheint für den Beton die zweckmäfsigste Zusammensetzung ein Raumteil Portland-Zement, zwei bis fünf Teile Kiessand und ebensoviel Raumteile Kiessteine bezw. Steinschlag zu sein. Letzterer ist als Zusatz zum Kiessande den Kiessteinen vorzuziehen, jedoch werden hier immer die örtlichen Verhältnisse und die Höhe der Kosten für den Steinschlag mafsgebend sein.

Es wird noch teilweise die Ansicht vertreten, dafs eine Betonmischung durch gröfseren Zusatz von Steinschlag mager und daher minderwertig werde. Dies ist jedoch keineswegs der Fall. Im Gegenteil erhält die Mischung durch Zusatz von Steinschlag bezw. Kiessteinen, wenn die richtigen Grenzen eingehalten werden, eine gröfsere Festigkeit sowohl gegen Druck- als auch gegen Zugbeanspruchung.

Die Betonmischung für die Gewölbe vorliegender Brücke mit einer zulässigen Druckbeanspruchung von 28 $^{kg}/_{cm^2}$ bei 9facher Sicherheit besteht aus 1 Raumteil Zement mit $2^1/_2$ Raumteilen feinem Kiessand (möglichst

scharfkörnig) und 5 Raumteilen hartem Steinschlag (Schotter). Nach 28 Tagen beträgt die Druckfestigkeit dieser Mischung etwa 250 $^{kg}/_{cm^2}$. Die Festigkeit wird durch vorschriftsmäfsig hergestellte Probekörper untersucht.

Die zweckmäfsigste Zubereitung des Betons geschieht in Betonmischmaschinen. Hierdurch wird eine gröfsere Gleichmäfsigkeit der Masse und bessere Verteilung des Zementes erzielt als bei der Mischung durch die Hand. Bei den Gewölben, sowie Pfeilern und Widerlagern wird der Beton in Schichten von etwa 20 ^{cm} Stärke aufgebracht und dann so lange festgestampft, bis sich an der Oberfläche Wasser zeigt; d. h. der Beton mufs schwitzen. Die Betonmischung darf für die Herstellung von derartigen Bauwerken nicht nafs und nicht trocken, sondern mufs „gut erdfeucht“ sein.

Für die Herstellung der Gewölbe ist es zweckmäfsig, wenn die Schalung vorher geölt wird, damit sie sich bei der Ausrüstung leichter vom Gewölbe löst.

Wenn der Beton wasserdicht werden soll, wird er mit reinem Zementmörtel (1 Zement und 2 Sand) versehen, und zwar in zwei Schichten zusammen etwa 10 ^{cm} stark aufgebracht. Durch Hinzufügung von etwas Kalkmilch (etwa 0,1 Raumteil) wird diese Mischung geschmeidig.

2. Beschreibung der Ausführung.

Die Gründungen der Brücke können, falls kein grofser Wasserandrang vorhanden ist, in offener Schachtzimmerung erfolgen. Der Beton für die Widerlager und Pfeiler ist magerer als der für die Gewölbe und hat bei 18 $^{kg}/_{cm^2}$ Druckfestigkeit und 9facher Sicherheit etwa eine Zusammensetzung von 1 Raumteil Zement zu 4 Teilen Sand und 6 Teilen Schotter. Die Druckfestigkeit nach 28 Tagen be-

trägt ungefähr 100 $^{kg}/_{cm^2}$. Der Beton wird dann, wie schon erwähnt, in etwa 20^{cm} dicken wagerechten Lagen aufgebracht und festgestampft. Die Schalungen für die Absätze werden jedesmal sofort nach dem Abbinden des Betons entfernt.

Das Lehrgerüst wird mit Rücksicht auf die bei der Ausrüstung entstehende Scheitelsenkung und auf das Schwinden des Holzes während der Bauausführung zweckmäfsig um 100 bis 200^{mm} erhöht, je nach Spannweite der Brücke. Bei vorliegendem Bauwerke genügt eine Erhöhung des Lehrgerüstes von etwa 100^{mm}.

Die Scheitelsenkung infolge Zusammenpressung des Betons bei der Ausrüstung beträgt etwa nur 10 bis 20^{mm}.

Das Betonieren des Gewölbes wird, aufser in wagerechten Schichten, auch noch in Zwischenräumen zwischen einfachen Schalungen ausgeführt. Es wird zweckmäfsig in der Nähe des Scheitels begonnen und auf beiden Gewölbehälften in gleichen Abständen vom Scheitel fortgesetzt. Darauf werden die Zwischenräume aufser denen der Gelenke und Bruchfugen ausbetoniert. Auf diese Weise läfst sich eine ziemlich gleichmäfsige Belastung des Lehrgerüstes erzielen.

Das Schliefsen der Gewölbe erfolgt zunächst an den Gelenken und zuletzt an den Bruchfugen.

Nachdem die Gewölbe fertiggestellt sind, werden die Stirnmauern ausgeführt und der magere Beton der Über- bezw. Hintermauerung eingebracht.

Für die Ableitung des Sickerwassers erhält die Übermauerung Neigungen nach den Entwässerungsschächten hin. Aufserdem wird noch eine wasserdichte Zementschicht aufgebracht, um das Gewölbe gegen Eindringen von Nässe zu schützen.

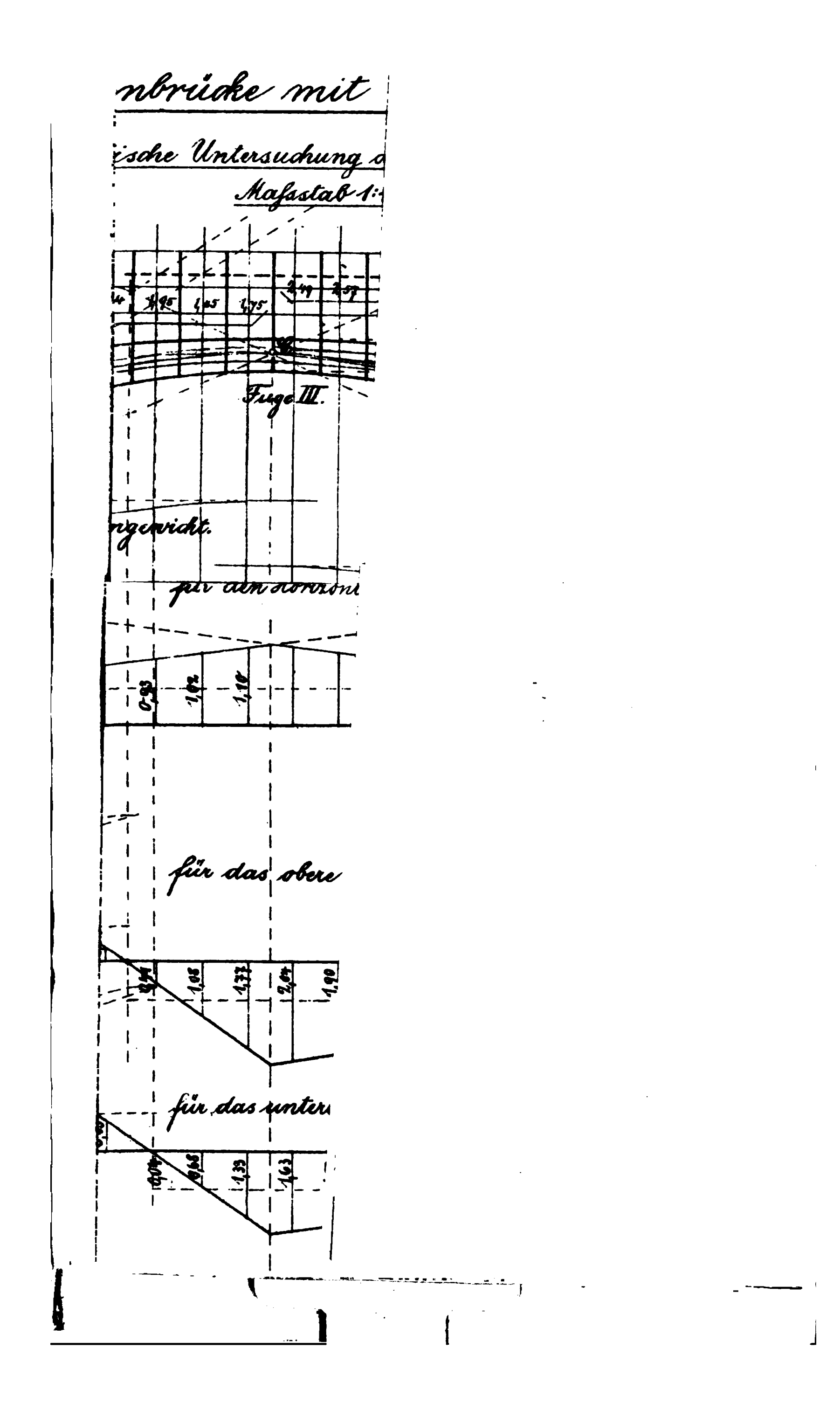
An Stelle der Zementschicht wird in neuerer Zeit eine einfache oder doppelte Ziegelflachschicht in Zement verlegt, eventuell noch mit einer dünnen Zementschicht darüber. Auch empfiehlt es sich, die wasserdichte Abdeckung mit einer 1 bis 2 cm starken Asphaltschicht oder mit Asphaltpappe bezw. Asphaltfilz zu überziehen, da durch die Stöfse der Verkehrslast in dem fetten Zement leicht Risse entstehen.

Nach Fertigstellung dieser Arbeiten erfolgt die Herstellung der Fahrbahn und die der Ansichtsflächen.

Bei den Ansichtsflächen erscheint es zweckmäfsig, die Aufsenseiten der Bögen mit den Granitgelenken in Übereinstimmung zu bringen und somit den Beton in Nachbildung von Granitmauerwerk auszuführen. Hierdurch werden gleichfalls die häufig auftretenden Flecke bei Betonbauten vermieden.

Die Ausrüstung der Bögen erfolgt mittelst der im elften Abschnitt unter 1. beschriebenen Vorrichtungen. Das Ablassen der Lehrbögen geschieht nach neueren Erfahrungen zweckmäfsiger von den Mitten der Gewölbeschenkel nach den Gelenken zu, im Gegensatz zu dem bisherigen Verfahren des Absenkens der Lehrgerüste bei Dreigelenkbögen vom Scheitel nach den Kämpfern.




nbrücke mit
ische Untersuchung d
Maßstab 1:
1,95
1,05
1,75
2,49
2,57
Fuge III.
ngewicht.
für den horizont
0,93
1,02
1,10
für das obere
0,94
1,08
1,73
2,04
1,90
für das untere
0,04
0,68
1,33
1,63

bogenbr...

Tafel II.

Querschnitt.

45

H

$\gamma_{m^2} = 1$

45